

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVDE BAKIM HİZMETLERİ SERVİS ROTALAMA PROBLEMİNİN
SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK OPTİMİZASYONU**

Recep ÇOLAK

**Danışman
Prof. Dr. Tuncay YİĞİT**

**II. Danışman
Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK**

**Doktora TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2020**



© 2020 [Recep ÇOLAK]

TEZ ONAYI

Recep ÇOLAK tarafından hazırlanan " **Evde Bakım Hizmetleri Servis Rotalama Probleminin Sezgisel Yöntemler Kullanılarak Optimizasyonu** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Prof. Dr. Tuncay YİĞİT**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Muhammed Maruf ÖZTÜRK**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. İsmail Serkan ÜNCÜ**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Erdal AYDEMİR**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Burhan DUMAN**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Recep ÇOLAK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
2.1. ESBH ve Rotalama Problemi.....	8
3. EVDE SAĞLIK BAKIM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ.....	17
3.1. Problemin Tanımı.....	17
3.1.1. Hastalar.....	17
3.1.2. Ekipler.....	18
3.1.3. Sağlık merkezi.....	20
3.2. Tanımlamalar ve Matematiksel Model.....	22
3.2.1. Zaman bilgisinin periyot olarak modellenmesi.....	22
3.2.2. Hasta ihtiyaç ve sağlık çalışanı becerilerinin ikilik sayı olarak modellenmesi.....	25
3.2.2.1. Hastanın sağlık çalışanı cinsiyet tercihinin ikilik sayı ile hasta ihtiyacı gibi çözümü.....	28
3.2.3. Matematiksel model.....	31
4. EVDE SAĞLIK BAKIMI ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ.....	37
4.1. Genetik Algoritma ve Probleme Uygulanması.....	37
4.1.1. Gen yapısı.....	41
4.1.2. Kromozom yapısı.....	41
4.1.3. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.....	45
4.1.3.1. Başlangıç kromozomlarının ilk uygun yere atanması ile oluşturulması.....	46
4.1.3.2. Başlangıç kromozomlarının en uygun periyot ataması ile oluşturulması.....	49
4.1.3.3. Başlangıç kromozomlarının en uygun ekip ataması ile oluşturulması.....	52
4.1.4. Çaprazlama.....	57
4.1.4.1. Rassal çaprazlama.....	61
4.1.4.2. Uygunluk değerine göre çaprazlama.....	62
4.1.5. Elitizm.....	63
4.2. Açgözlü Yöntemle Problemin Çözümü.....	64
4.2.1. Açgözlü yöntemin simüle edilmesi.....	68
5. UYGULAMA YAZILIMI, ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	75
5.1. Uygulama Yazılımı.....	75
5.1.1. Uygulama yazılımında GA'nın çalıştırılması.....	77
5.1.2. Uygulama yazılımında greedy algoritmanın çalıştırılması.....	81
5.1.3. Rotaların harita üzerinde çizdirilmesi.....	81
5.1.4. Rotaların kaydedilmesi ve geri yüklenmesi.....	83

5.2. Veri Tabanı Yapısı.....	84
5.3. Verilerin Üretilmesi	86
5.4. Deneyler ve Değerlendirme.....	88
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR.....	112
EKLER.....	124
EK A ROTALAR.....	124
ÖZGEÇMİŞ	129



ÖZET

Doktora Tezi

EVDE BAKIM HİZMETLERİ SERVİS ROTALAMA PROBLEMİNİN SEZGİSEL YÖNTEMLER KULLANILARAK OPTİMİZASYONU

Recep ÇOLAK

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Tuncay YİĞİT

II. Danışman: Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK

Evde bakım hizmeti, hastaların kendi ev adreslerinde bakım ve tedavi hizmeti aldığı, sağlık kuruluşlarında yürütülen geleneksel bakım ve tedavi yöntemlerine göre daha ekonomik bir yöntemdir. Dünyada farklı türde uygulama örnekleri olan evde bakım hizmeti, ülkemizde Sağlık Bakanlığı tarafından çıkarılan yönetmeliklerle düzenlenmiş ve evde sağlık hizmeti olarak şekillendirilmiştir. Yapılan düzenlemeler ile ev ziyaretlerinin farkı sayıda ve türde sağlık çalışanı bulunan ekipler tarafından ve randevu esasına göre yapılması gerekmektedir. Evde sağlık bakımı hizmetinde çok sayıda ve farklı konumlarda bulunan hastaların istedikleri zaman penceresinde ve kendi adreslerinde ziyaret edilmesi, hizmetin planlanmasını ve hasta ziyaret güzergâhları için uygun rotaların oluşturulmasını gerektirmiştir.

Bu tez çalışması ile, Sağlık Bakanlığı'nın belirlemiş olduğu esaslara göre servis rotaların oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma ile ekip beceri ve hasta ihtiyaçlarının doğru şekilde eşleştirilebilmesini sağlayan ikilik sayılarla ifade edilmiş her bitin farklı birer sağlık bakımı işlemine karşılık geldiği yeni bir model önerilmiştir. Hastaların, sağlık çalışanı cinsiyet tercihinde bulunabilmesi için literatürde daha önce rastlanmayan cinsiyet bitleri kavramı ortaya atılmıştır. Cinsiyet bitleri hasta ihtiyaç ve ekip beceri eşleşmesinde de kullanılan sağlık bakımı bitleri ile sağlanmıştır. Hasta işlem bitlerinden bir tanesi kadın, bir tanesi de erkek biti olarak tanımlanmıştır. Var olan hasta işlem bitlerinin cinsiyet içinde kullanılması ile matematiksel modele yeni kısıtlar girilmeden cinsiyet tercihinin çözülmesini sağlamıştır. Problem hasta tercihleri, ekip tercihleri, en kısa mesafe, ekip iş yükü dengesi gibi çok amaçlı olarak modellenmiştir. Sağlık kuruluşu her bir amaç fonksiyonu için farklı katsayılar belirleyerek istediği amacı ön plana çıkaran farklı sonuçlar elde edebilmektedir. Çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak ele alınan evde bakım hizmetleri rotalama problemi, meta sezgisel bir yöntem olan Genetik Algoritma (GA) ile çözülmüştür. GA'nın çözüme

etkisini ölçmek için probleme özgü Açgözlü (Greedy) bir algoritma geliştirilmiş ve üretilen rotalar karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, Sağlık Bakanlığı'nın tanımını yaptığı evde sağlık hizmetlerinin sunulabilmesi için hasta zaman tercihi, ekip zaman tercihi, ekip iş yükü dengesi, hasta ihtiyaç ekip beceri eşleşmesini sağlayan ve ayrıca rota mesafelerini kısaltan matematiksel bir model tanımlanmıştır. GA ile tanımlanan model çözülerek rotaların gerçek zamanlı bir harita üzerinde gösterilebildiği bir uygulama yazılımı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Evde bakım rotalama, Evde sağlık bakımı rotalama, Optimizasyon, Genetik Algoritma, Sezgisel algoritmalar, Araç rotalama, Sağlık çalışanı-hasta eşleşmesi, En kısa mesafe

2020, 130 sayfa



ABSTRACT

Ph.D. Thesis

OPTIMIZATION OF HOME CARE SERVICES SERVICE PROBLEM USING HEURISTIC METHODS

Recep OLAK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Tuncay YİĞİT

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Hakan IŞIK

Home care service is a more economical method compared to traditional care and treatment methods carried out in health institutions where patients receive care and treatment services at their home addresses. Home care service, which has different types of application examples in the world, has been regulated by the regulations issued by the Ministry of Health in our country and has been shaped as home health service. With the arrangements made, home visits should be made by teams with different numbers and types of healthcare professionals and on an appointment basis. Visiting a large number of patients from different locations in home healthcare services at the time window they want and at their own addresses required planning the service and creating appropriate routes for patient visit routes.

With this thesis, it was aimed to create routes according to the principles determined by the Ministry of Health. With the study, a new model has been proposed, in which each bit corresponds to a different health care process, expressed in binary numbers, which ensures that team skills and patient needs can be matched correctly. The concept of gender lice, which has not been encountered before in the literature, has been proposed in order for patients to make healthcare professional gender preferences. Gender lice were provided by healthcare lice, which are also used in patient needs and team ability matching. One of the health care process bit was defined as female and one as male. Using the existing health care process bits within gender, it was possible to solve the gender preference without entering new constraints in the mathematical model. The problem has been modelled for multiple purposes such as patient preferences, team preferences, shortest distance, team workload balance. By determining different coefficients for each purpose function, the home healthcare center can obtain different results that highlight the desired purpose. The home care routing problem, which is considered as a multi-purpose optimization problem, has been solved with the Genetic Algorithm (GA), which is an intuitive

method. To measure the effect of GA on the solution, a problem-specific Greedy algorithm was developed and the generated routes were compared.

As a result, a mathematical model was defined to provide home health services defined by the Ministry of Health, which provides patient time preference, team time preference, team workload balance, patient-team ability match and also shorten route distances. Application software has been developed in which routes can be displayed on a real-time map by solving the model defined with GA.

Keywords: Home care routing, Home health care routing, Optimization, Genetic Algorithm, Heuristic algorithms, Vehicle routing, Health worker-patient matching, Shortest distance

2020, 130 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan yol gösterip teşvik eden değerli danışman hocam Prof. Dr. Tuncay YİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma sırasında karşılaştığım sorunlarda bilgi ve tecrübesi ile her zaman yardımcı olan ve yol gösteren değerli ikinci danışman hocam Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübeleri ile çalışmaya önemli katkılar sunan Tez İzleme Komitesi üyeleri Doç. Dr. Muhammet Maruf ÖZTÜRK ve Doktor Öğr. Üyesi Erdal AYDEMİR hocalarıma ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Recep ÇOLAK
ISPARTA, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. UN 1960-2100 yılları arası 65- ve 65+ dünya nüfusu değişim değerleri ve tahmini.....	1
Şekil 1.2. Türkiye 2010-2019 nüfus yapısı ve 2023-2080 tahmini.....	2
Şekil 3.1. Rotalara sağlık merkezinin dâhil edildiği ve edilmediği gösterim	20
Şekil 3.2. Gerçek zaman değerinin periyot cinsinden gösterimi.....	23
Şekil 3.3. Hasta için gereken işlemlerin ikilik sayı olarak kodlanması	26
Şekil 3.4. Birden çok sağlık çalışanı olan ekiplerde ekip genel becerisi	26
Şekil 3.5. Hastaya uygulanacak olan işlemler için cinsiyet bitleri	28
Şekil 3.6. Hasta cinsiyet tercihi için cinsiyet bitlerinin kullanımı	29
Şekil 3.7. Sağlık çalışanı cinsiyet biti tanımı	30
Şekil 3.8. Ekip için cinsiyet bitleri tanımı	30
Şekil 4.1. Genetik algoritma çalışması akış diyagramı	38
Şekil 4.2. Problem için geliştirilen GA'nın çalışması	40
Şekil 4.3. Farklı türlerde kodlanmış kromozom yapıları	41
Şekil 4.4. Baker ve Ayechev tarafından ARP için önerilen kromozom yapısı	42
Şekil 4.5. Önerilen kromozom yapısı	43
Şekil 4.6. Kromozom yapısının bütün periyotları kapsayacak şekilde tanımlanması	44
Şekil 4.7. Hasta zaman tercihlerinin nesne olarak tanımlanmış Gen yapısında saklanması	44
Şekil 4.8. Hasta bakım süresinin zaman penceresi içinde kayabilmesi	49
Şekil 4.9. Hasta seçilme olasılığı	51
Şekil 4.10. Ekip becerilerinin hasta ihtiyaçlarını karşılama oranı	53
Şekil 4.11. Ekip kıtlığına göre sıralanmış hasta listesi	55
Şekil 4.12. Tek noktadan çaprazlama	57
Şekil 4.13. İki noktadan çaprazlama	57
Şekil 4.14. PMX çaprazlama	58
Şekil 4.15. Kullanılan çaprazlama işlemi	60
Şekil 4.16. Örnek bir çizge	68
Şekil 4.17. Açgözlü yöntem simülasyonu için kullanılan yol çizgesi	70
Şekil 5.1. Uygulama yazılımı blok şeması	75
Şekil 5.2. Hasta adreslerinin marker ile işaretlenmesi	76
Şekil 5.3. Uygulama yazılımı	77
Şekil 5.4. Uygulama yazılımı GA parametreleri seçim ekranı	77
Şekil 5.5 Ceza katsayıları	78
Şekil 5.6. Uygulama yazılımı rotaların gösterilmesi	80
Şekil 5.7. Uygulama programında greedy algoritmanın çalıştırılması	81
Şekil 5.8. Greedy algoritma ile elde edilen rotalar	81
Şekil 5.9. Rotaların harita üzerinde gösterilmesi	82
Şekil 5.10. Rotaların kaydedilmesi	83
Şekil 5.11. Kayıtlı rotaların yüklenmesi	83
Şekil 5.12. Kullanılan veri tabanı yapısı	84
Şekil 5.13. Rastgele üretilmiş hasta adres verileri	86
Şekil 5.14. Deney1 GA uygunluk değeri değişimi	90
Şekil 5.15. Farklı ilk atama yöntemlerine göre uygunluk değerinin değişimi	92

Şekil 5.16. Çaprazlamada kullanılan birey seçim şansının sonuca etkisi	93
Şekil 5.17. Deney2 GA uygunluk değeri değışimi.....	96
Şekil 5.18. GA'nın farklı kromozom sayılarına göre uygunluk değeri değışimi	100
Şekil 5.19. Deney 4, test 6 uygunluk değeri değışimi	102
Şekil 5.20. Deney 5 test 9 uygunluk değeri değışimi	104
Şekil 5.21. Deney 6 test 2 uygunluk değeri değışimi	106
Şekil 5.22. Deney 7 test 6'ya ait uygunluk değeri değışimi	108



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Literatür özeti.....	14
Çizelge 3.1. Ekiplere atanabilecek zaman penceresi tipleri	20
Çizelge 3.2. Zaman penceresinin zaman periyodu cinsinden gösterimi	23
Çizelge 3.3. Hasta ihtiyaç, ekip beceri eşleşmesi örnek veriler	27
Çizelge 4.1. Hasta önceliğini dikkate alan atama için seçilme olasılıkları	51
Çizelge 4.2. Simülasyonda kullanılan örnek hasta bilgileri	69
Çizelge 4.3. Simülasyonda kullanılan örnek ekip bilgileri	69
Çizelge 4.4. Hasta adresleri arasındaki periyot cinsinden uzaklık matrisi	70
Çizelge 4.5. Greedy simülasyon adım 1	71
Çizelge 4.6. Greedy simülasyon adım 2	72
Çizelge 4.7. Greedy simülasyon adım 3	72
Çizelge 4.8. Greedy simülasyon adım 4	73
Çizelge 4.9. Greedy simülasyon adım 5	73
Çizelge 5.1. Denemelerde kullanılan hasta adreslerine ait konum bilgisi.....	87
Çizelge 5.2. Deney1 için kullanılan hasta bilgileri.....	88
Çizelge 5.3. Deney1 için kullanılan ekip bilgileri.....	89
Çizelge 5.4. Deney1'deki verilerle yapılan testlerin sonuçları.....	89
Çizelge 5.5. Deney1 GA ile elde edilen rotalar	91
Çizelge 5.6. Deney2 için kullanılan hasta bilgileri.....	94
Çizelge 5.7. Deney2 için kullanılan ekip bilgileri.....	94
Çizelge 5.8. Deney2'deki verilerle yapılan testlerin sonuçları.....	95
Çizelge 5.9. Deney2 GA ile elde edilen rotalar	96
Çizelge 5.10. Deney2 Greedy Algoritma ile elde edilen rotalar	98
Çizelge 5.11. Deney3 ile elde edilen sonuçlar	99
Çizelge 5.12. Deney 4 için kullanılan ekip bilgileri	100
Çizelge 5.13. Deney 4 için kullanılan hasta bilgileri.....	101
Çizelge 5.14. Deney 4 ile elde edilen test sonuçları.....	102
Çizelge 5.15. Deney 5 için kullanılan ekip bilgileri	103
Çizelge 5.16. Deney 5 ile elde edilen test sonuçları.....	104
Çizelge 5.17. Deney 6 ile elde edilen test sonuçları.....	105
Çizelge 5.18. Deney 7 ile elde edilen test sonuçları.....	107

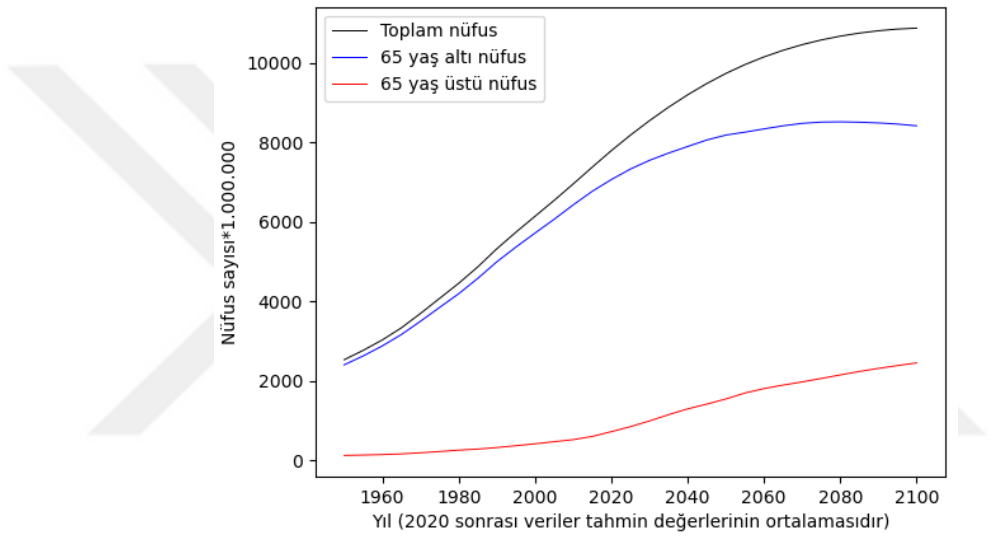
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Altyordam	Alt program, belirli bir iş yapan program parçası, defalarca farklı parametreler için kullanılabilen yapılardır
AND	Bit seviyesinde VE işlemini yapan aritmetik operatördür.
ARP	Araç rotalama problemi
AVNS	Uyarlanabilir değişken komşuluk araması (Adaptive variable neighborhood Search)
$Bin2Dec(x)$	İkilik tabandaki bir sayının onluk karşılığını veren özel bir fonksiyondur.
$BOS_{k,i}$	k. ekip için i. hastaya öğle mesaisi için bakım ziyareti planlanmış ise 1, değilse 0
$BSA_{k,i}$	k. ekip için i. hastaya sabah mesaisi için bakım ziyareti planlanmış ise 1, değilse 0
$B_{k,i}$	k. ekip için i. hastaya bakım ziyareti planlanmış ise 1, değilse 0
BS_i	i. hastanın önceden planlanan beklenen bakım süresi, $BS_i = HIB_i - HIA_i$,
$Dec2Bin(x)$	Onluk tabandaki bir sayının ikilik karşılığını veren özel bir fonksiyondur.
E	Hasta ziyaretinde bulunacak ekip kümesi
EOA_k	k. ekibin öğle arası zaman penceresi
$EOAI_k$	k. ekibin öğle arası ihlalinin ifade eder. Ekibin sabah son ziyaret planının ve öğleden sonraki ilk ziyaret planının yolculuk sürelerini dikkate alarak öğle arası ihlalinin periyot cinsinden değeridir.
$EOIA_k$	k. ekibin öğle mesaisinin bitmesini istediği en son periyot
$EOIB_k$	k. ekibin öğlen mesaisine başlamak istediği en erken periyot
EOM_k	Eğer k. ekibin öğlen mesaisi varsa 1, değilse 0
ESBH	Evde sağlık bakımı hizmeti
ESBHRP	Evde sağlık bakımı hizmeti rotalama problemi
$ESIA_k$	k. ekibin sabah mesaisinin bitmesini istediği en geç periyot
$ESIB_k$	k. ekibin sabah mesaisine başlamak istediği en erken periyot
ESM_k	Eğer k. ekibin sabah mesaisi varsa 1, değilse 0
Ey_k	k. ekibinin uygulayabileceği işlemleri (beceri) gösteren ikilik kodlanmış sayısal değerdir.
Fitness	Uygunluk değeri GA ile üretilen her bir kromozomun çözüme olan yakınlığıdır.
GA	Genetik algoritma
Greedy	Açgözlü yaklaşım
H	ESBH alacak olan hasta kümesi
Hg_i	i. hastanın ihtiyaç duyduğu sağlık bakımlarını gösteren ikilik kodlanmış sayısal değerdir.
HIA_i	i. hastanın istediği bakım süresi dahil ziyaretin tamamlanması gereken en geç periyot
HIB_i	i. hastanın ziyaretin başlamasını istediği en erken periyot
Hm_i	i. hastanın memnuniyetsizliğini ifade eder. Hastanın istediği periyottan önce ziyaretin başlaması ve/veya istediği periyottan sonra bitmesi durumudur.
Ho_i	Sağlık merkezi tarafından verilen hasta önceliği, 0-1 arasında ondalıklı bir değer

HPA_i	i. hastanın bakım süresi dâhil planlanan ziyaret bitiş periyodu
HPB_i	i. hastanın planlanan ziyaret başlangıç periyodu
i, j	Ziyaret noktalarını tanımlayan indisler, 0. indis sağlık merkezi, 1..n indisler ise hasta indisleridir.
k	Ziyareti gerçekleştirecek olan sağlık ekibi indisi, 1..m
KARP	Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi
km	Kilo metre
Lat	Coğrafi konuma ait enlem bilgisi
Lng	Coğrafi konuma ait boylam bilgisi
m	Ziyaretleri gerçekleştirecek olan toplam ekip sayısı, ekip sayısı aynı zamanda araç sayısıdır.
$Mem(x)$	Hasta memnuniyetsizliğini ölçen özel bir fonksiyondur. $x \leq 0$ ise 0, değilse x değerini verir.
MIP	Mixed integer programing (Karma tamsayılı programlama)
MM	Periyot cinsinden maksimum mesai süresi
n	Ziyaret edilmesi gereken toplam nokta sayısı, sağlık merkezi dahil toplam hasta sayısı
NP-hard	Polinom zamanda çözümü zor problemler
PMX	Partially matched crossover, kısmi uyumlu çaprazlama
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu algoritması
RLS	Rastgele arama algoritması (Randomised local search)
Tu_k	k. ekibin gün içinde yapacağı metre cinsinden mesafe
Tz_k	k. ekibin bir tur için yapacağı periyot cinsinden toplam zaman değeridir. Hasta adreslerinde harcanan bakım zamanı mutlak harcanması gereken süre olduğundan dikkate alınmamıştır.
$U_{i,j}$	i. ve j. noktalar arasındaki harita servisinden elde edilmiş gerçek uzaklık değeri, gerçek değerler kullanıldığından $U_{i,j} \neq U_{j,i}$
WOA	Balina optimizasyonu algoritması (Whale optimization algorithm)
$Z_{i,j}$	i. ve j. noktalar arasındaki uzaklık değeri, periyot cinsinden zamanı gösterir. Gerçek değerler kullanıldığında yol durumuna bağlı olarak $Z_{i,j} \neq Z_{j,i}$
ZP	Zaman penceresi
ZP-ARP	Zaman pencereli araç rotalama problemi
$Zs_{k,i,j}$	k. ekip i. hastadan sonra j. hastaya bakım ziyaretinde bulunacaksa 1, değilse 0

1. GİRİŞ

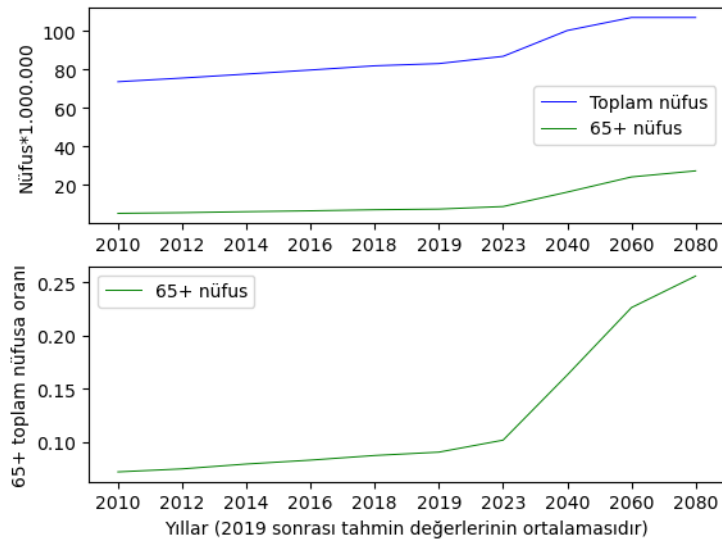
Tıp bilimindeki ilerlemelerle hemen hemen her ülkede doğumda beklenen ortalama yaşam süresi uzamaktadır. Bu durum nüfusun yaşlanmasına ve bakım maliyetlerinde artışa sebep olmaktadır (Fikar ve Hirsch, 2017). Birleşmiş Milletler'in 65 yaş üstü ve 65 yaş altı nüfusa ait 1960 yılından başlayarak 2020 yılına ait değişimi ve geleceğe ait tahminleri Şekil 1.1'de görülmektedir (UN, 2019).



Şekil 1.1. UN 1960-2100 yılları arası 65- ve 65+ dünya nüfusu değişim değerleri ve tahmini

Birçok ülkede yaşlı nüfus sayısı artmakta olup gelecek için yapılan tahminlerde de bu durumun değişmeyeceği görülmektedir. Toplum içinde daha çok sayıda yaşlı nüfusun olması birçok alanda olduğu gibi sağlık alanında da değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Yaşlı nüfus sayısındaki bu artış, bakıma ihtiyaç duyan hasta sayısının artmasına sebep olmuştur. Bu durum aynı zamanda sağlık bakımı için gereken harcamaları da artırmıştır (Çoban, 2003). Birçok ülke artan sayıda hastaya bakım sağlayabilmek için geleneksel yolla sağlık merkezlerinde yapılan bakımla birlikte Evde Sağlık Bakım Hizmeti (ESBH) de kullanmaya başlamıştır. ESBH sayesinde bakım maliyetleri azalmaktadır (Macintyre vd., 2002). Hastalar, kendi ev ortamlarında bakım aldıklarından hasta memnuniyeti de artmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından ilan edilen bültene göre; ESBH sayesinde

hastaneye kabul edilen hasta sayısı ve hastanelerde yatış süresi düşmektedir (Araujo De Carvalho vd., 2017). Bu avantajlarından dolayı hükümetlerde çıkardığı yasal düzenlemeler ile ESBH yönteminin kullanımını artırmaya teşvik etmektedir. Türkiye’de son yıllarda 65 yaş üstü bireylerin toplam nüfusa olan oranı yıllar içinde artmaya başlamıştır. Şekil 1.2’de Türkiye’nin 2010-2019 yılları arasındaki nüfus artışı ile 65+ yaşın nüfus içindeki oranı görülmektedir (TUIK, 2020).



Şekil 1.2. Türkiye 2010-2019 nüfus yapısı ve 2023-2080 tahmini

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi ülke nüfusu giderek yaşlanmaktadır. Türkiye de diğer gelişmiş ülkelerde olduğu gibi artan bakım maliyetlerini düşürmek için 10.03.2005 tarihli ve 25751 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Evde Bakım Hizmetleri Sunumu Hakkında Yönetmelik” (Resmi Gazete, 2005) ile ESBH’ye yasal bir zemin kazandırmıştır. Kamunun teşvikinin yanında hastalar da bazı avantajlarından dolayı ESBH’yi tercih etmektedir. ESBH’nin literatürden derlenmiş bazı avantajları aşağıda liste halinde görülebilir (Tanlı 1996; Spratt vd., 1997; Karamercan, 2001; Akdemir, 2001; Çoban, 2003; Karabağ, 2007).

- Bakım ve tedavi hizmetinin kişinin kendi ortamında verilmesi,
- Hastanın bildiği ve tanıdığı bir ortamda hizmet almasının hasta psikolojisi üzerine olumlu etki etmesi,
- Hastanın kendisini ev ortamında daha güvende hissetmesi,

- Ev ortamının özellikle ileri yaş hastalarda görülen hastane kaynaklı enfeksiyon riskini azaltması,
- Hasta ve kamu açısından maliyetlerin geleneksel sağlık kurumunda tedaviye göre daha düşük olması,
- Bazı bireylerin evden çıkmasının mümkün olmamasından dolayı sadece evde bakım alabilecek olması,
- Hastalığın son evresinde olan hastaların zamanlarını aileleri ile birlikte geçirebilmesini sağlamasıdır.

Yukarıdaki avantajlarının da etkisiyle ESBH alan hasta sayısı giderek artmaktadır. Ayrıca ESBH hizmeti alan hastalarla yapılan anket çalışmalarında hastaların en çok şikâyet ettiği konulardan birisinin ilaçlarını zamanında alamamasıdır (Işık vd., 2016; Önder vd., 2015). Hastalara rastgele bir zamanda değil önceden planlanmış bir zaman aralığında hizmet vermek, hem hastaların ilaçlarını zamanında almasını sağlayacak hem de hastanın kendi sosyal hayatını istediği gibi düzenlemesine izin vereceğinden yapılacak olan planlamada ve rotalamada bu durumu dikkate almak gerekmektedir.

ESBH hem yaşlı bakımını hem de hastane sonrası evde tedaviyi içermektedir. Özellikle hastane sonrası evde devam eden tedavi için hastaların özel becerilere sahip sağlık personelleri tarafından ziyaret edilmesi gerekmektedir (Arbaje vd., 2019). Çok sayıda hastaya gün içinde belirli bir zaman penceresi içinde ulaşılmak istenmesi ve bazı hastalara sadece belirli sağlık personelinin atanabilmesi, belirli becerilere sahip sağlık personel sayısındaki kıtlık, ziyaretlerin planlanması ve rotalanması gibi bütün işlemler çözümü zor bir optimizasyon problemini ortaya çıkarmıştır. ESBH genelde iki ayrı şekilde yapılmaktadır. Birinci modelde, belirli bir sağlık kuruluşunda tam zamanlı olarak çalışmayan bakım personeli gün içinde kendisine atanmış olan hastaları ziyaret etmektedir. İkinci modelde ise, hem yaşlı bakımını hem de hastane sonrası evde tedaviyi kapsayan ziyaret planlarının ve rotanın belirli bir merkezden yürütüldüğü yöntemdir.

Belirli bir sağlık merkezi koordinasyonunda yürütülen ESBH modelinde hasta için uygun sağlık çalışanlarından oluşan ekipler, gün içinde hastaları kendi yaşam

alanlarında ziyaret etmekte ve gerekli olan tedavi ve bakım hizmetini gerçekleştirmektedir. Problem, bu şekilde ele alındığında hasta ihtiyaç ve ekip beceri eşleşmesi eklenmiş zaman pencereci kapasite kısıtlı araç rotalama problemine (ARP) benzetilebilir. Kapasite kısıtlı Araç Aotalama Problemine (KARP) okul servis problemi (Yigit ve Unsal 2016; Caceres vd., 2019), mal dağıtımı ve toplama problemi (Aydoğdu ve Özyörük, 2019), akaryakıt dağıtım problemi (Chowmali ve Sukto, 2020) ve bu çalışmada ele aldığımız evde sağlık bakım servis rotalama problemi (Bertels ve Fahle, 2006; Hiermann vd., 2013; Mankowska vd., 2014; Maya Duque vd., 2015; Braekers vd., 2016; Redjem ve Marcon, 2016; Rest ve Hirsch, 2016; De Carvalho vd., 2017; Fikar ve Hirsch, 2017; Liu vd., 2017; Frifita vd., 2017; Çolak vd., 2019; Liu vd., 2020) örnek olarak verilebilir. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri genel olarak kesin çözüm yöntemleri ile olurlu çözümün bulunması zor problemlerdir (Karagöl vd., 2016).

Tez çalışmasında ele aldığımız Evde Sağlık Bakım Hizmeti Rotalama problemi, (ESBHRP) literatürde hem kesin yöntemlerle (Borsani vd., 2006; Rasmussen vd., 2012; Wirnitzer vd., 2016; De Angelis 1998; Liu vd., 2017) hem de sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerle (Milburn ve Spicer, 2013; Maya Duque vd., 2015; Redjem ve Marcon, 2016; Fathollahi-Fard vd., 2020) çözülmeye çalışılmıştır. Tez çalışması kapsamında problem aşağıdaki şekilde ele alınmıştır:

Hastaların gün içindeki ziyaretleri planlanmalı ve rotalar oluşturulmalıdır. Planlama ve rotalar oluşturulurken hasta zaman tercihleri (zaman penceresi) dikkate alınmalıdır. Zaman penceresi, hasta önceliği ile birlikte dikkate alınacaktır. Hastalar, zaman tercihlerini kendileri karar verebilirken, tedavi süresine ve hasta önceliğine sağlık kuruluşu karar verecektir. Hasta önceliği, hastanın sağlık durumuna göre 0-1 arasında ondalıklı bir değerdir. Değer 0'a yaklaştıkça zaman penceresinin dikkate alınma olasılığı azalırken, 1'e yaklaştıkça artmaktadır. Hastalara tek bir sağlık çalışanı değil bir ekip ataması yapılacaktır. Bir ekipte birden çok sağlık çalışanı bulunabilmekte ve bu çalışanlar farklı becerilere (skill) sahip olmaktadır. Ekiplere hasta ataması yapılırken beceri değeri en uygun hasta atanmalıdır. Beceri değeri yetersiz bir ekip, hastaya atanmamalıdır. Ekiplerinde günlük çalışma planlarına uyulmalıdır. Ekipler gün

içinde 2 vardiya şeklinde çalışacaktır. Her iki vardiya için ayrı ayrı başlangıç zamanı ve bitiş zamanı belirtilmelidir. İki vardiya arasında kalan çalışılmayan süre, ekiplerin öğle arasıdır. Birinci vardiya bitışı ile 2. vardiya başlangıcı arasında boşluk verilmez ise öğle arası uygulanmayabilir. Eğer istenirse ekip, tek vardiya olarak da atanabilmelidir.

Tez çalışması kapsamında problemin yukarıda bahsedilen tanımına göre matematiksel modeli çıkarılmıştır. Problem hem sezgisel olarak hem de yeni geliştirilen açgözlü (greedy) bir metotla çözülmüştür. Sezgisel çözümde önce Insertion Heuristic Algoritması (Solomon, 1987) ile atamalar yapılmış daha sonra bu atamalar Genetik Algoritma (GA) ile geliştirilerek daha kısa mesafeli rotalar elde edilmiştir. Geliştirilen greedy algoritması ise ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. Her iki yöntemde de ekiplerin hasta ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını ölçmek için literatürde çokça kullanılan hiyerarşik bir mukayese (Trautsumwieser ve Hirsch, 2011; Hiermann vd., 2013; Yuan vd., 2015; Fikar ve Hirsch, 2015; Rest ve Hirsch, 2016) yerine, literatür araştırmasında karşılaşılmayan, her bir beceri değerinin ayrı bitlerle temsil edildiği aritmetik AND operatörü kullanılmıştır. İhtiyaç-beceri eşleşme kontrolünün AND ile yapılması zaman karmaşıklığını azaltmıştır. Test için gereken hasta konum bilgileri kişisel veri olduğundan kullanılan veri kümeleri gerçek coğrafi konum bilgisinden oluşacak şekilde rastgele üretilmiştir. Hastanın ihtiyaç duyduğu bakım gereksinimleri, bakım süresi, hasta önceliği gibi durumlar ile ekiplerin becerileri de yine rastgele üretilerek deneyler yapılmıştır. Algoritmaların çözümü, rotaların gösterilmesi ve rotaların çizimi için Visual Studio 2017 geliştirme ortamında C# dili ile bir uygulama geliştirilmiş, atamalar sonunda elde edilen rotalar ise yine aynı uygulama ile harita üzerinde Web servisler ile çizdirilerek gösterilmiştir. Verilerin saklanması için ise SQL Server 2017 Developer sürümü kullanılmıştır.

Bu tez çalışması literatüre aşağıdaki katkıları sunmaktadır:

- ESBH'yi ayrı ayrı hemşirelerle değil bir ekip ile yapan Türkiye gibi ülkeler için problemin çözümü için matematiksel bir model geliştirilmiştir.

- Ekip içinde birden çok sağlık çalışanı olması durumunda beceri değerlerinin nasıl tanımlanabileceği ve hasta ihtiyaı ile sağlık çalışanı beceri eşlemesinin bit seviyesinde AND operatörü ile nasıl yapılabileceği gösterilmiştir.
- Hem hasta hem de ekip zaman penceresini dikkate alan hasta ihtiyaç ve ekip beceri eşleşmesini sağlayan greedy bir algoritma geliştirilmiştir.
- EBS için hasta ziyaret rotalarının gerçek harita üzerinde görselleştirildiği bir uygulama geliştirilmiştir.

Tez çalışmasının sonraki bölümleri; ikinci bölümde kaynak zetleri, üçüncü bölümde ESBH probleminin tanımlanması ve matematiksel model, dördüncü bölümde matematiksel modele göre problemin üzülmesi, beşinci bölümde uygulama yazılımı ve yazılım ile yapılan testler ile son olarak altıncı bölümde sonuç ve önerilerden oluşmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

WHO, 1959 yılında teknik bir raporda “dominiciary care” servisten bahsetmektedir. Hastaların evlerde ziyaret edilmesinin hastanede yapılacak olan tedaviden daha ekonomik olduğundan ve özellikle hastane hizmetinden faydalanamayan düşük gelir grubundaki bireylerin faydalanabileceğinden bahsedilmektedir. İlgili raporda evde bakım hizmeti; evde tedavi, rehabilitasyon, fizyoterapi, laboratuvar analizleri olarak tanımlamaktadır (WHO, 1959). WHO’nun yaptığı bu tanımdan yola çıktığımızda evde yapılan her türlü bakım ve tedavi işlemi evde bakım, evde sağlık bakımı olarak tanımlanabilir. Fakat her ülkede yapılan uygulamalar farklılıklar göstermektedir. Çoban (2015)’te yaptığı çalışmada hemen hemen her ülkede evde bakım ve evde sağlık kullanılsa da farklı şekillerde uygulandığından ve tanımının da bu yüzden farklı olduğundan bahsetmektedir. Ülkelerin sosyo kültürel ve demografik yapısından dolayı farklı uygulamaların ve tanımlamaların olması kaçınılmazdır. Her ülkedeki farklı farklı uygulamalar literatüre de yansımış ve problem İngilizce kaynaklarda “home care, home health care, home health service, home nursing, home care nurse” şeklinde tanımlanmıştır (Kass, 1987; Nyman ve Dowd, 1991; Rosko vd., 1995; Harrison vd., 1996; Dudzinski vd., 1998; Madigan vd., 2012; Milburn ve Spicer, 2013; Jones vd., 2015; Murtaugh vd., 2017; Müller vd., 2017; Weerahandi vd., 2020; Sterling vd., 2020; Dowding vd., 2020; Valdmanis vd., 2017). Bentur (2001), evde bakımı, duvarsız bir hastane ve tıbbi evde bakım olarak tanımlamış, evde bakımın tek başına değil hastane ile birlikte yürütülmesi gereken bir hizmet ve hastanelerin yükünü azaltacak bir uygulama olarak görmüştür.

Ülkemizde ise, problem Türkçe literatürde “evde bakım, evde sağlık “ şeklinde geçmektedir (Akaltun ve Ersin, 2016; Çubukçu ve Yazıcıoğlu, 2016; Yurtsever, 2016; Uzan vd., 2017; Şahin vd., 2017; Kalinkara ve Kalaycı, 2017; Kaya vd., 2018). Türkiye’de evde bakım ve evde sağlık, ayrı yasal düzenlemelerle tanımlanmıştır. 10.03.2005 tarihli ve 25751 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Evde Bakım Hizmetleri Sunumu Hakkında Yönetmelik” (Resmi Gazete, 2005) evde bakımı tanımlamakta ve özel teşebbüsler tarafından kurulabilecek olan evde bakım merkezleri için yasal bir düzenleme getirmektedir. Evde sağlık ise

sağlık bakanlığının 01.02.2010 tarih ve 3895 sayılı makam onayı ile yürürlüğe giren “Sağlık Bakanlığınca Sunulan Evde Sağlık Hizmetlerinin Uygulama Usul Ve Esasları Hakkında Yönergede Değişiklik Yapılmasına Dair Yönerge” (Sağlık Bakanlığı, 2010) ile resmiyet kazanmıştır. Halen devam eden uygulama ise 27.02.2015 tarihli ve 29280 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Sağlık Bakanlığı Ve Bağlı Kuruluşları Tarafından Evde Sağlık Hizmetlerinin Sunulmasına Dair Yönetmelik” tir. Bu yönetmelik evde sağlık hizmetini; “Çeşitli hastalıklar nedeniyle evde sağlık hizmeti almaya ihtiyacı olan bireylere evinde ve aile ortamında sosyal ve psikolojik danışmanlık hizmetlerini de kapsayacak şekilde verilen muayene, tetkik, tahlil, tedavi, tıbbi bakım, takip ve rehabilitasyon hizmetlerini ifade eder” şeklinde tanımlamıştır (Sağlık Bakanlığı, 2015). Yine aynı yönetmelikte hizmetin sunuş şeklide belirlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre, hasta ziyaretlerinin ekiple yapılması gerekmektedir. Yönetmelikte ekipte yer alması gereken görevliler; “evde sağlık hizmeti konusunda eğitilmiş hekim, yaşlı bakım teknikeri/evde hasta bakım teknikeri ve yardımcı sağlık personeli olmak üzere üç kişiden oluşturulur. Yaşlı bakım teknikeri/evde hasta bakım teknikeri olmadığı hallerde bir yardımcı sağlık personeli ekibe dâhil edilir. İhtiyaç halinde psikolog, sosyal çalışmacı ve benzeri destek elemanları da hizmetin sunumunda görev alır” şeklinde tanımlanmıştır. Yine aynı yönetmelikte gerekli durumlarda ekipte sorumlu dış tabibinin de olabileceğinden bahsetmektedir. Uygulama bu şekilde bir ekipte farklı becerilere sahip birden çok kişinin olmasını gerektirmektedir.

2.1. ESBH ve Rotalama Problemi

ESBH problemini ilk defa Fernandez vd. 1974 yılında ele almışlardır. Çalışmalarında hemşirelerin hasta ziyaretlerini gezgin satıcı problemine benzer şekilde planlamaları gerektiğinden bahsetmişlerdir. Çalışma sonucunda hasta ziyaretleri yapacak olan hemşirelerin nüfus yoğunluğuna göre hangi bölgelerde bulunmaları gerektiğini belirlemeye çalışmışlardır (Fernandez vd., 1974).

Begur vd. (1997), problemi, Clark and Wright’ın kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için geliştirdikleri tasarruf algoritması (Clarke ve Wright, 1964)

temeline dayanan bir yöntem ile çözmeye çalışmışlardır. Probleme bir çözüm bulmalarının yanı sıra yazarın araştırmalarına göre elde ettikleri rotaları gerçek bir harita üzerinde gösteren ilk uygulamalardan olduğu için önemlidir.

Cheng and Rich (1998), problemi, klasik bir problem olan kapasite kısıtlı araç rotalama problemi gibi ele almış, modele hasta zaman tercihleri için zaman penceresi kısıdını ekleyerek çözmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında hastalara tam zamanlı ya da yarı zamanlı hemşireler tarafından bakım yapıldığı farz ederek atamalar yapmaya çalışmışlardır. Hem kesin bir yöntemle hem de sezgisel bir yaklaşım ile problemi çözmüşlerdir. Probleme ait matematiksel modeli harita yerine koordinat sistemi ile tanımlayıp noktalar arası mesafeyi Öklid uzaklıkla hesaplamışlardır. Hasta ile hemşireler arasında ihtiyaç-beceri eşleşmesi kullanmışlar ve hemşireleri becerileri açısından hastalara atanabilir ya da atanamaz şeklinde basit bir yolla tanımlamışlardır.

Bertels ve Fahle (2006), problemi, hasta zaman tercihleri ve hemşire becerisini de dikkate alarak personel atama ve araç rotalama problemi gibi çözmeye çalışmışlardır. Hemşire becerilerini modellerken hemşirelerin yapabildikleri becerileri bir küme gibi ele alıp, kümenin kapsadığı hastaları ilgili hemşireye atamışlardır. Çalışmalarında tabu arama, tavlama benzetimi ve kısıt programlama yöntemlerini ayrı ayrı ve hibrit kullanarak çözüm aramışlardır. Yaptıkları testler sonucunda kısıt programlama ve tabu arama algoritmasını birlikte kullandıklarında hibrit çözümün iyi sonuçlar verdiğinden bahsetmektedirler. Bu çalışmada sağlık çalışanlarının atanması gereken hasta bilgisini hiyerarşik değil küme ve alt küme şeklinde yapılması önceki çalışmalardan farklıdır.

Eveborn vd. (2006), problemi, araç rotalama gibi ele alarak bir karar destek sistemi ile çözmeye çalışmışlardır. Bakımın sürekliliğine dikkat ederek ziyaretlerinin mümkün olduğu kadar aynı hasta bakıcı tarafından yapılmasına odaklanmışlardır. Hasta ve çalışan eşleşmesinde sağlık çalışanı beceri durumunu da dikkate almışlardır. Öncelikleri bakımın sürekliliği olduğundan mesafe ya da zaman periyodu gibi durumları belirli miktarda göz ardı etmişlerdir. Tekrarlı

eşleştirme (repeated matching) algoritması ile önce hastaları bir ziyaret planına dâhil etmişler ve bu ziyaret planları ile hasta bakıcıları eşleştirerek problemi çözmeye çalışmışlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçlar planlama için ayrılan sürede %7'lik, hasta ziyaretleri için harcanan yolculuk süresinde ise %20'lik bir iyileştirme olduğunu göstermiştir. Sonuçları gerçek harita üzerinde gösteren bir karar destek sistemi hazırlamışlardır.

Elbenani vd. (2008), problemi, zaman pencereli çoklu araç rotalama gibi çözmeye çalışmıştır. Hemşireleri tam zamanlı ve ihtiyaç halinde çağrılan olarak iki ayrı grup gibi ele almışlardır. Bakımın sürekliliğini önemseyen bir matematiksel model çıkarmışlardır. Matematiksel modellerini Tabu arama algoritması ile çözmüşlerdir. Test için hem Solomonun verilerini (Solomon 1987) hem de bir evde bakım merkezine ait gerçek verileri kullanmışlardır. Test sonuçlarının tatmin edici sonuçlar verdiğinden bahsetmektedirler. Bakım merkezinin önceki atamaları ile kıyasladıklarında maliyetlerin ve ziyaretler için kullanılan hemşire sayısının düştüğünden fakat bazı hastalara ulaşamadığından bahsetmektedirler.

Trautsamwieser ve Hirsch (2011), evde sağlık bakımı günlük ziyaret planlamasına ve rotalanmasına odaklanmışlardır. Hem hasta memnuniyetini sağlamaya hem de seyahat süresinin düşürmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında zaman penceresi, hasta ihtiyaçları ve hasta bakıcı beceri eşleşmesi, hasta bakıcı zorunlu ara gibi kısıtları modellerine eklemişler ve modeli Variable Neighborhood Search algoritması ile çözmüşlerdir. Hasta ve hasta bakıcı eşleşmesinde hiyerarşik bir model kullanmışlar ve daha üst hiyerarşideki becerilere sahip hastanın daha az beceriye ihtiyaç duyan hastalara da atanabilmesine izin vermişlerdir. Hasta adresleri için ise hem rastgele üretilmiş verileri hem de Avusturya kırmızı haçından aldıkları gerçek verileri kullanmışlardır. Yapılan testlerin, modelin ve algoritmanın tatmin edici sonuçlar verdiğinden ve seyahat süresinde %45'e varan bir iyileşme olduğundan bahsetmektedirler. Yazarların görüşüne göre seyahat süresindeki iyileşme ile daha çok hastaya ziyaret gerçekleştirilebilecektir. Bu duruma hasta memnuniyetini artıracaktır.

Nickel vd. (2012), haftalık atamayı çözmek için iki aşamalı bir yöntem denemişlerdir. İlk aşamada, probleme ait matematiksel modeli sezgisel bir algoritma ile kısıt programlama ile başlangıç çözümü elde etmişlerdir. Oluşturdukları başlangıç çözümü hem kısıtları sağlayan olurlu bir çözümdür hem de çok kısa sürede elde edilmektedir. İkinci evrede ise, başlangıçta elde ettikleri çözümü adaptive large neighborhood arama ile geliştirmişlerdir. Hastaların hemşirelere atanmasında ihtiyaç-beceri durumu hiyerarşik yapıda olacak şekilde dikkate alınmıştır. Üst becerilere sahip bir hemşire, daha alt becerilere ihtiyaç duyan hasta ile eşleşebilmektedir. Her hastaya tek bir hemşire atandığından bakım devamlılığını dikkate almışlardır. Bu durum hasta zaman penceresinin sağlanması ile birlikte hasta memnuniyetini de oluşturmaktadır. Denemeleri gerçek veriler ile yapmışlardır. Fakat hasta adresleri arasındaki uzaklık değerinin simetrik olduğunu varsaymışlardır. Gerçek hayatta iki nokta arasındaki mesafe hem metre cinsinden hem de ulaşım zamanı cinsinden simetrik değildir. Özellikle şehir içi trafik ele alındığında kavşakların durumu, tek yönlü yollar veya bir yöndeki trafik durumundan dolayı uzaklık matrisinin simetri olması mümkün değildir.

Mankowska vd. (2014), günlük rotalar için problemi çözmeye çalışmışlardır. Önce bir matematiksel model geliştirmişler ve modellerini hem Cplex hem de Adaptive Variable Neighborhood Search (AVNS) ile çözmeye çalışmışlardır. Çalışmada, hasta-hasta bakıcı eşlemesi için modele yeni bir kısıt eklemişlerdir. Model seyahat süresini, hastaların toplam bekleme süresini minimize edecek şekilde oluşturulmuştur. Ziyaret rotasına atanmayan hasta kalmaması için hasta ziyaret saatlerinde esnemelere izin vermişlerdir. Hasta ve hasta bakıcı verilerini rastgele üretmişler ve hastalar arasındaki uzaklık içinde Öklid uzaklık kullanmışlardır. Yaptıkları testlerde AVNS'nin çok daha kısa sürede çözüm ürettiğini gözlemlemişler ve veri kümesinin çok büyük odluğu örnekler için Cplex ile çözüm elde edememişlerdir. AVNS'nin Cplex'e özellikle büyük veri kümelerinde açıkça avantajlı olduğundan bahsetmektedirler.

Maya Duque vd. (2015), hasta bakıcıların günlük çalışma saatlerini günde 2 ayrı parçaya bölerek, her biri en fazla 4 saat olacak zaman periyotları olarak

düşünmüşlerdir. Çözümlerini ise iki aşamalı olarak planlamışlardır. Problemin matematiksel modelini hazırladıktan sonra birinci aşamada ziyaret planlarını oluşturmak için IBM ILOG CPLEX ile matematiksel modeli çözmüşlerdir. Daha sonra olası çözümleri ele alarak Rastgele Arama Algoritması (RLS) ile matematiksel modeldeki kısıtları ihlal etmeyecek şekilde seyahat sürelerini azaltmaya çalışmışlardır. Hasta ve bakıcı atamalarında ihtiyaç-beceri eşleşmesi kullanmışlardır. Fakat bunun için modele ayrı bir kısıt girmek yerine hasta-bakıcı tercihi parametresini kullanmışlardır. Bu sayede hem bakımın sürekliliğini hem de ihtiyaç-beceri eşleşmesini tek bir kısıt ile çözmeye çalışmışlardır. Hasta zaman tercihinin de ihtiyaç gibi ele almışlardır. Çalışmalarında elde ettikleri bulguları aynı zamanda bir karar destek sisteminde uygulamışlardır. Elde ettikleri deneysel bulgular hasta zaman tercihlerinin yüzde 70 oranında sağlanabildiğini göstermiştir. İhtiyaç-beceri eşleşmesini katı bir kısıt yerine tercih gibi esnek bir kısıt olarak kullanmaları sağlık koşulları sebebiyle özellikle belirli bir beceriye sahip bakıcıların atanmasını garanti etmemektedir. Bu açıdan bu yaklaşım evde bakım için kullanılabilsen bile evde sağlık bakımı için çok uygun değildir. Evde sağlık bakımında hastanın tedavisi de evde yapıldığından ihtiyaç-beceri eşleşmesinin zorunlu bir kısıt olarak modele eklenmesi gerekmektedir.

Braekers vd. (2016), problemi hem yolculuk ve hemşire bakım maliyeti hem de hasta memnuniyetini dikkate alacak şekilde iki amaçlı kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak ele almışlardır. Maliyetleri ve hasta memnuniyetsizliğini minimize etmeye çalışmışlardır. Hasta ziyaretlerinde zaman penceresine dikkat etmişler ve ihlal edilen zamanları cezalandırma yoluyla hasta memnuniyetsizliğini artırmışlar ve bu değerin minimize edilmesine çalışmışlardır. Ceza katsayılarını değiştirerek istedikleri amaca öncelik vermişlerdir. Problemin modelinde hemşireler ile bakım yapabileceği hasta arasında beceriye dayalı bir atama yapmışlardır. İhtiyaç-beceri eşleşmesinde sayısal bir değer kullanmalarına rağmen hiyerarşik bir model kullanmamışlardır. Bu sayede daha becerikli olan hemşirelerin daha az beceri gereken hastalara atanmasını engellemişlerdir. Beceri eşleşmesinde her beceri değerine sabit bir olasılık değeri verilerek, hasta ve hemşire eşleşme olasılığı belirlenmiştir.

Geliştirilen matematiksel modelin çözümü için geniş komşuluk arama sezgiseli (Large Neighborhood Search Heuristic) algoritmasını kullanmışlardır.

Wirnitzer vd. (2016), yaptıkları çalışmada aylık ve haftalık bakım planı üzerine odaklanmışlardır. Tasarladıkları modelde hemşire becerisi ve hasta ihtiyaç eşlemesine dikkat etmişlerdir. Hiyerarşik bir eşleşme ile atamalara izin vermişlerdir. Bakımın sürekliliği, çalışmaların ana odak noktası olmuştur. Bunun için ziyaret sayısı daha çok ve daha az olan hastaları, ayrı gruplar olarak ele almışlardır. Bakımın sürekliliği dikkate alındığında bu ayrımın olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Problemin çözümü için tasarladıkları matematiksel modeli MIP ile çözmüşlerdir. Sonuçları hem 20 hemşirenin olduğu bir veri kümesi ile hem de 40 hemşire ve 4000 ziyaretin olduğu daha büyük bir veri kümesi ile test etmişlerdir. Küçük veri kümesinde modelin sorunsuz olarak çalıştığından, fakat büyük veri kümesinde kabul edilebilir bir zamanda optimum çözüme ulaşamadıklarından bahsetmektedirler. Fakat yine de küçük veri kümesi için elle yapılan atamaya göre 10 dakika gibi bir zamanda bakım sürekliliğinin %50'den fazla arttığını görmüşlerdir. Testlerden elde ettikleri veriler sonucunda özellikle büyük veri kümeleri için sezgisel yöntemlerin kullanılması gerektiğinden bahsetmektedirler.

Shi vd. (2017), evde sağlık bakımı rotalama problemini zaman pencereli araç rotalama problemi (ZP-ARP) gibi modelleyerek çözmeye çalışmışlardır. Problemi ZP-ARP gibi modellediklerinden hasta ve hemşire atamasında hasta ihtiyaçlarını göz ardı etmişlerdir. Hemşirelerin hastalara dağıtacağı ilaç miktarını, araç kapasitesi olarak tanımlamışlardır. Hemşire becerilerinin göz ardı edilmesi ile dağıtım yapan bütün araçlar eşdeğer olarak düşünülmüştür. Bu durum, GA'nın başlangıç bireylerinin oluşturulması, çaprazlama ve mutasyon işlemlerini kolaylaştırmıştır. Hemşirelerin ya da ekiplerin farklı becerilere sahip olması durumunda kullandıkları ilk atama, çaprazlama ve mutasyon yöntemlerinin kullanılması bize göre uygun değildir. Problemin matematiksel modelini çıkarmışlar ve Solomon (Solomon, 1987) veri seti üzerinde denemişler ve iyi sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Wang vd. (2020), sağlık çalışanlarını tam zamanlı çalışan ve yarı zamanlı çalışan şeklinde iki ayrı grup gibi ele alarak Whale Optimizasyon Algoritması (WOA) ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasını (PSO) birlikte kullanarak (WOA-PSO) problemi çözmeye çalışmışlardır. Modellerinde, hem hastalar için hem de çalışanlar için zaman penceresi kullanmışlardır. Çalışmayı daha çok maliyet amaçlı ele almışlar ve gün sonunda ziyaretlerinin sağlık merkezinde bitmesi gibi bir kısıt ta kullanmamışlardır. Diğer birçok çalışmada olduğu gibi bakımın sürekliliğine dikkat etmişler; ama çalışan becerisi ve hasta ihtiyaç eşleşmesini düşünmemişlerdir. Elde ettikleri sonuçların WOA ve PSO ile ayrı ayrı elde edilen çözümlerinden daha iyi olduğunu belirtmektedirler. Literatür araştırması izelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatür özet

	Yöntem		Konum		İhtiyaç-Beceri		
	KY	SY	KK	HK	HB	LB	OB
(Fernandez et al. 1974)	X						
(Begur, Miller, and Weaver 1997)		X		X			
(De Angelis 1998)	X						
(Cheng and Rich 1998)	X	X	X			X	
(Eveborn, Flisberg, and Rönnqvist 2006)		X		X		X	
(Borsani et al. 2006)	X						
(Elbenani, Ferland, and Gascon 2008)		X					
(Trautsamwieser and Hirsch 2011)		X	X		X		
(Nickel, Schröder, and Steeg 2012)		X	X		X		
(Rasmussen et al. 2012)	X						
(Mankowska, Meisel, and Bierwirth 2014)	X	X	X			X	
(Maya Duque et al. 2015)	X	X		X			
(Braekers et al. 2016)		X					X
(Redjem and Marcon 2016)		X					

Çizelge 2.1. Literatür özeti (Devam)

(Wirnitzer et al. 2016)	X						
(Liu, Yuan, and Jiang 2017)	X						
(Shi, Boudouh, and Grunder 2017)		X	X				
(Tourangeau et al. 2017)		X					
(Wang et al. 2020)		X	X				
(Fathollahi-Fard, Hajiaghahi-Keshteli, and Mirjalili 2020)		X					

Çizelge 2.1’de kullanılan kısaltmalar aşağıdaki gibidir:

Yöntem: Problemin çözümü için kullanılan yöntem,

KY: Kesin yöntemler,

SY: Sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler,

Konum: Hasta adresler konumları için kullanılan yöntem,

KK: Hasta, sağlık çalışanı ya da sağlık merkezi için adres yerine koordinat sistemindeki x,y konumları kullanılmıştır.

HK: Hasta, sağlık çalışanı ya da sağlık merkezi için harita üzerinde gerçek bir konuma işaret eden adresler kullanılmıştır.

İhtiyaç-Beceri: Hasta-Sağlık çalışanı atamasında hastanın ihtiyaçları ile çalışanların becerilerinin eşlemesine dikkat edilip edilmediği,

HB: Hasta-Sağlık çalışanı eşleştirmesinde çalışanların atanabileceği hastalar hiyerarşik bir yapıda belirlenmiştir.

LB: Hasta-Sağlık çalışanı eşleştirmesinde çalışanların atanabileceği hastalar her çalışan için ayrı bir küme ya da liste olarak tanımlanmıştır.

OB: Hasta-Sağlık çalışanı eşleştirmesinde çalışanların atanabileceği hastalar atama olasılığını belirleyen bir değerle belirlenmiştir.

Bu tez çalışması literatürden aşağıdaki özellikleri ile farklılaşmaktadır:

- Hasta ihtiyacı ve sağlık çalışanı beceri eşleşmesini ikilik bir sayı dizisi ile ifade eden ve eşleşme için bit mask kullanan ilk çalışmadır. Sağlık çalışanı beceri değerinin ve hasta ihtiyaçlarının ikilik olarak ifade edilmesi çalışan kaynağının etkin kullanılması, kıt olan beceri değerlerinin atamada öncelik verilmesi gibi işlemler kolaylıkla uygulanabilmektedir. Ayrıca

hastaların cinsiyet tercihleri ayrı bir kısıt olarak düşünmeden ihtiyaç bit dizisi ile kodlanarak çözülebilmektedir.

- Daha önce literatürde rastlamadığımız yeni bir Greedy algoritmada geliştirilmiştir. Greedy yaklaşımı kesin yöntemler ya da sezgisel yöntemler kadar etkili sonuçlar vermese de çok hızlı sonuç vermesi açısından özellikle hasta sayısının fazla olduğu ve hemen sonuç alınması gereken işlerde kullanılabilir.
- Geliştirilen bir uygulama ile gerçek bir harita üzerinde gerçek uzaklık ve gerçek yolculuk zamanlarına göre rotaların optimize edilmiş şekilde görselleştirildiği uygulama geliştirilmiştir.



3. EVDE SAĞLIK BAKIM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELİ

3.1. Problemin Tanımı

Evde sağlık bakımı rotalama probleminde hastalar, sağlık çalışanları ve sağlık merkezi olmak üzere üç temel varlık vardır.

3.1.1. Hastalar

Kendi adreslerinde tedavi alan kişileri tanımlar. Hasta varlığı için yapılan tanımlamalar ve kurallar aşağıda belirtilmiştir.

Hasta konumları: Hastaların konum bilgisi için gerçek adresler kullanılacaktır. Hasta adresleri sistemde enlem (latitude) ve boylam (longitude) olarak ifade edilecektir. A,B gibi iki ayrı nokta için A-B ve B-A gibi iki adres arasındaki karşılıklı uzaklık değeri ve yolculuk süreleri, trafik durumu, kavşak, ters yön gibi durumlardan dolayı farklılık gösterebilir. Çalışmada harita uygulamasından gerçek zamanlı alınan değerler kullanılmıştır. Hasta konumları 1'den başlayan hastaID değerleri ile adlandırılmaktadır.

Hasta zaman pencere tercihi: Hastanın gün içinde tedavi almak istediği zaman aralığını ifade eder. Ziyaretler, bu zaman tercihleri dikkate alınarak gerçekleştirilmeye çalışılacaktır. Zaman tercihleri esnek kısıt olarak düşünülmüş ve uyulmayan süreler için ceza ataması yapılmıştır.

Bakım süresi: Hastanın tedavisi ve/veya bakımı için gereken süreyi ifade eder. Bakım süresine, hastanın durumuna göre sağlık merkezi tarafından karar verilir. Bakım süresine uyulması zorunlu bir kısıttır. Bakım süresi içinde gerçekleşmeyecek ziyaret atamaları yapılmayacaktır.

Hasta önceliği: 0-1 arasında ondalıklı bir katsayı değeridir. Hasta önceliği 1'e yaklaştığında hasta zaman tercihinin dikkate alınma olasılığı artmaktadır. Her hasta için bu değere sağlık merkezi karar verir. Hastaların keyfi isteklerinde

değerler düşük iken, açlık kan şekeri, ilaç alım saati gibi sağlık sebepli zaman pencereleri için değer 1 ya da 1'e yakın olarak uygulanır. Bu değere uzman sağlık ekibi karar verecektir.

Cinsiyet tercihi: Hastalar ekip ya da sağlık çalışanı tercihi yapamaz. Fakat ekip içinde mutlaka kadın ya da mutlaka erkek personel bulunması tercihi yapılabilir. Bu tercih, sistemde ayrı bir değer olarak değil hasta ihtiyacı olarak ele alınmıştır.

Hasta ihtiyacı: Hastanın tedavisi için gereken işlemlerin tümünü ifade eder. İkilik olarak kodlanmış tamsayı değerdir. Hasta ihtiyacı zorunlu bir kısıttır. Hastaya ihtiyacını karşılayamayacak olan ekiplerin atanması mümkün değildir.

Gün içi tekrarlı ziyaret: Eğer hastanın gün içinde birden çok defa bakıma ihtiyacı var ise, her bir bakım için sisteme aynı konuma sahip iki ayrı hasta eklenmelidir. Her bir ziyaretin ayrı hastalar gibi düşünülmesi sayesinde ziyarete özel hasta önceliği ve ihtiyaçlar tanımlanabilmektedir. Aynı hasta için sabah yapılacak ziyaretin önceliği çok yüksek iken öğleden sonra öncelik daha düşük olabilir. Aynı şekilde sabah ziyaret planı için ekipte kadın sağlık çalışanı gerekirken öğleden sonraki ziyaret için gerekmebilir.

Bakım sürekliliği: Bakımın sürekliliği, hastaya hep aynı kişinin ziyaret gerçekleştirmesi durumu olarak ifade edilebilir. Literatürde bakımın sürekliliğini modele ekleyen çalışmalar vardır (Nickel, Schröder, and Steeg 2012; Wirnitzer et al. 2016). Bu çalışmalarda hasta ziyaretlerini hemşire gibi tek bir sağlık çalışanı yapmaktadır. Bizim modelimizde ise ziyaretler tek bir hemşire yerine bir ekip ile yapılacağından bakımın sürekliliği modele dâhil edilmemiştir.

3.1.2. Ekipler

27.02.2015 tarihli ve 29280 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Sağlık Bakanlığı Ve Bağlı Kuruluşları Tarafından Evde Sağlık Hizmetlerinin Sunulmasına Dair Yönetmelik" (Sağlık Bakanlığı, 2015) ile yapılan düzenlemede evde sağlık bakımı ziyaretlerinin bir ekip ile yapılacağı açıkça ifade edilmiştir.

Ekipte yer alması gereken görevliler; "evde sağlık hizmeti konusunda eğitilmiş hekim, yaşlı bakım teknikeri/evde hasta bakım teknikeri ve yardımcı sağlık personeli olmak üzere üç kişiden oluşturulur. Yaşlı bakım teknikeri/evde hasta bakım teknikeri olmadığı hallerde bir yardımcı sağlık personeli ekibe dâhil edilir. İhtiyaç halinde psikolog, sosyal çalışmacı ve benzeri destek elemanları da hizmetin sunumunda görev alır." şeklinde tanımlanmıştır. Yine aynı yönetmelikte gerekli durumlarda ekipte sorumlu dış tabibinin de olabileceğinden bahsetmektedir. Uygulama bu şekliyle bir ekipte farklı becerilere sahip birden çok kişinin olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada hasta ziyaretlerinin tek bir sağlık çalışanı yerine bir ekip ile yapıldığı ve ekip içinde farklı becerilere sahip birden çok çalışan olduğu varsayılmıştır. Ekipler için tanımlanan varsayımlar ve kurallar aşağıda belirtilmiştir.

Ekip konumu: Bütün ekipler, ziyaretlerine sağlık merkezinden başlar ve ziyaretlerini sağlık merkezinde sonlandırır. Bütün ekipler için konum bilgisi aynı olduğundan modele sağlık merkezi konumu olarak eklenmiştir.

Ekip zaman penceresi: Ekipler için çalışma zaman tercihleri mümkündür. Zaman tercihleri zorunlu kısıt olmayıp, ihlaller cezalandırılmıştır. Ekipler için en fazla iki ayrı zaman penceresi tanımlanabilir.

Sabah mesaisi: Ekibin gün içindeki ilk zaman penceresini tanımlar. Başlangıç ve bitiş değerleri her ekip için ayrı ayrı tanımlanabilir. Atamalar, bu periyotlar arasında yapılmaya çalışılır.

Öğle mesaisi: Ekibin gün içindeki ikinci zaman penceresini tanımlar. Başlangıç ve bitiş değerleri, sabah zaman penceresinde olduğu gibi her ekip için ayrı ayrı tanımlanabilir. Öğle zaman penceresi ile sabah zaman penceresi çakışamaz. Ekip için her iki zaman penceresinden sadece birisine atama yapılabilir. Bu durum özellikle yarım günlük mesailere izin vermesi açısından literatüre yapılmış önemli bir katkıdır.

Öğle arası: Sabah zaman penceresi ile öğle zaman penceresi arasındaki boşluktur. Her ekip için farklı zamanda başlayıp, farklı zamanda bitebilir. Bu esneklik sayesinde istenirse bir ekip çalışır iken diğer ekipler öğle arası molası verebilmektedir. Ayrıca öğle arası molası zorunlu da değildir. Eğer sabah zaman penceresi bitiminde öğle zaman penceresi başlatılırsa öğle arası kullanılmaz. Ekiplere atanabilecek üç ayrı zaman penceresi Çizelge 3.1’de örnek olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Ekiplere atanabilecek zaman penceresi tipleri

SZC ₁	SZC ₂	OZC ₁	OZC ₂	Açıklama
0	240	300	540	Ekibin hem sabah hem de öğle mesaisi var.
0	400	400	400	Ekibin sadece sabah mesaisi var
200	200	200	540	Ekibin sadece öğle mesaisi var

- SZC₁-SZC₂: Ekibin sabah zaman çerçevesi
- OZC₁-OZC₂: Ekibin öğleden sonra zaman çerçevesi

Ekip becerisi: Ekipteki tüm personelin toplam becerisini temsil eder. Hasta atamalarında zorunlu kısıttır. Hasta ihtiyacını karşılayamayacak olan ekipler hastalara atanmayacaktır.

3.1.3. Sağlık merkezi

Evde sağlık bakımı hizmetini yürüten sağlık merkezini ifade eder. Rotalar oluşturulurken sağlık merkezini rotaya dâhil eden ya da etmeyen şekilde tasarımlar yapmak mümkündür. Şekil 3.1’de sağlık Merkezinin ziyaret rotalarına 0. Hasta olarak dâhil edilmiş ve dâhil edilmemiş halleri görülmektedir.

Rota

0	1	2	3	4	5	6	7
0	9	12	8	15	10	16	0

a-) Sağlık merkezi 0. hasta olarak rotaya ekenmiş

Rota

0	1	2	3	4	5
9	12	8	15	10	16

b-) Sağlık merkezi rotaya eklenmemiş

Şekil 3.1. Rotalara sağlık Merkezinin dâhil edildiği ve edilmediği gösterim

Şekil 3.1a'da sağlık merkezi, 0. hasta gibi düşünülmüş ve rotalar sağlık merkezinden başlayıp biteceğinden her rotanın başına ve sonuna eklenmiştir. Rotaların bu şekilde oluşturulması ile sağlık merkezini ayrıca modele ekleme şartı kalmamıştır. Bu tasarım, hem matematiksel modeli basitleştirmiş hem de program yazma aşamasında kolaylık sağlamıştır. Şekil 3.1a'daki rota yapısına göre rota için toplam uzaklığı hesaplayan bağıntı $\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n Z_{s_{k,i,j}} * U_{i,j}$ şeklinde ifade edilebilir. Bu bağıntıda:

n: Sağlık merkezi de dâhil toplam nokta sayısı, hasta sayısı değeri n-1 olur.

i,j: ziyaret sırasını gösteren indisler,

$Z_{s_{k,i,j}}$: k. Ekip i. noktadan, j. noktaya ziyaret gerçekleştirecek ise 1, değilse 0

$U_{i,j}$: i,j. noktaları arasındaki uzaklık değeridir.

Şekil 3.1b'deki gibi sağlık Merkezinin rotalara eklenmediği bir tasarım için toplam mesafeyi hesaplayabilme adımları biraz daha uzundur. Bunun için her rotada, rota başlangıcı ve rota bitişi ile sağlık merkezi arasındaki uzaklığın ayrıca toplam mesafeye eklenmesi gerekeceğinden toplam mesafe yukarıdakinden farklı olarak $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n Z_{s_{k,i,j}} * U_{i,j} + Z_{Ba_{k,i}} * U_{sm,i} + Z_{Bi_{k,i}} * U_{i,sm}$ şeklinde ifade edilebilir. Bu bağıntıda:

$Z_{Ba_{k,i}}$: k. Ekip ilk ziyaret noktasına i. Noktasından başlıyorsa 1, değilse 0,

$Z_{Bi_{k,i}}$: k. Ekibin son ziyaret noktası i de bitiyorsa 1, değilse 0,

$U_{sm,i}$: Sağlık merkezi ile i. nokta arasındaki uzaklık değeri,

$U_{i,sm}$: i. nokta ile sağlık merkezi arasındaki uzaklık değeridir.

Tez çalışması kapsamında, rota tanımı Şekil 3.1a'daki gibi düşünülmüştür.

Sağlık merkezi, hasta noktası gibi ele alındığından hasta varlığı için tanımlanan bütün parametreler sağlık merkezi içinde tanımlanmıştır. Sağlık merkezi için bakım süresi, öncelik ve ihtiyaç değerleri olmadığından bu değerler 0 olarak girilmelidir.

Sağlık merkezi konumu: Hasta konumlarında olduğu gibi gerçek adres kullanılacaktır. Sisteme hasta adresleri gibi eklenir. Hasta adresleri 1'den başlayan ardışık değerlerdir ve sağlık merkezi konumu ise 0 olarak kullanılmıştır. Bu yüzden bütün ziyaretler 0 numaralı konumda başlar ve biter.

Sağlık merkezi zaman periyodu: Sağlık merkezi için zaman periyodu toplam çalışma zamanı olmalıdır. Gün içinde 600 periyotluk bir çalışma zamanı öngörülmüş ise, sağlık merkezi için zaman periyot değerleri 0-599 olan bir hasta noktası gibi belirlenir. Sağlık merkezine zaman periyodu verilmesi, ekiplerin merkezden ayrılacağı en erken periyot ve merkeze geri dönmesi gereken en geç periyodun kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Modelin bu şekilde kurulması uygulamada bazı avantajlar sağlamaktadır. Aşağıda 2 örnek ile bu durum açıklanmıştır:

- Eğer sabah mesai başlamadan bir toplantı yapılması gerekiyor ise, sağlık merkezi zaman periyodu başlangıcı 0 yerine toplantı için gereken periyot kadar ötelenebilir. Model bu sayede ziyaret planlarını yeni başlangıç değerine göre hazırlayacaktır.
- Eğer akşam mesai bitiminde günlük değerlendirmeler yapılacaksa zaman periyodu bitişi erkene çekilebilir. Bu sayede ekipler, mesai tamamlanmadan sağlık merkezinde dönecek şekilde atamalar yapılacaktır.

3.2. Tanımlamalar ve Matematiksel Model

3.2.1. Zaman bilgisinin periyot olarak modellenmesi

Günümüzde bilgisayarlarda tarih, saat bilgisi sayısal değerlerle saklanmaktadır. Değerlerin bu şekilde sayısallaştırılması, hesaplama işlemlerinin kolayca yapılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, gerçek zaman değerleri yerine belirli bir zaman aralığını ifade eden periyot cinsinden tamsayı değerler kullanılacaktır. Hasta zaman tercihleri, bakım süresi, personel zaman tercihleri, günlük çalışma süresi, hasta adresleri arasındaki yolculuk süresi gibi zaman cinsinden ifade edilen bütün değerler, periyot cinsinden ifade edilecektir. Şekil 3.2’de 15,5,2 ve 1 dakikalık zaman periyoduna ait şekil görülmektedir. Mesai süresi daha uzun ya da daha kısa olduğunda zaman periyoduna ait tamsayı değerler, daha uzun ya da daha kısa olabilir. Şekil 3.2’deki gösterim günlük 10 saatlik çalışma zamanına göre hazırlanmıştır.

08:00	08:15	08:30				17:45
0	1	2	.	.	.	39
15 dakika aralıklı, toplam 40 periyot						
08:00	08:05	08:10				17:55
0	1	2	.	.	.	119
5 dakika aralıklı, toplam 120 periyot						
08:00	08:02	08:04				17:58
0	1	2	.	.	.	299
2 dakika aralıklı, toplam 300 periyot						
08:00	08:01	08:02				17:59
0	1	2	.	.	.	599
1 dakika aralıklı, toplam 600 periyot						

Şekil 3.2. Gerçek zaman değerinin periyot cinsinden gösterimi

Şekil 3.2'deki zaman-periyot dönüşümü yapılmış örnek veriler Çizelge 3.2'de görülmektedir. Çizelge 3.2'de 1 dakikalık, 2 dakikalık ve 5 dakikalık zaman periyotları için gerçek zaman değerine karşılık gelen tam sayı değerleri görülebilir.

Çizelge 3.2. Zaman penceresinin zaman periyodu cinsinden gösterimi

Hasta ID	Zaman penceresi Gerçek saat		Zaman penceresi periyot 1 dakika		Zaman penceresi periyot 2 dakika		Zaman penceresi periyot 5 dakika	
	Başla	Bitiş	p1	p2	p1	p2	p1	p2
h ₁	09:00	09:30	60	90	30	45	12	18
h ₂	08:30	08:50	30	50	15	25	6	10
h ₃	09:00	17:50	60	590	30	295	12	118
h ₄	13:00	13:30	300	330	150	165	60	66
h ₅	10:30	11:30	150	210	75	105	30	42
h ₆	08:30	08:50	30	50	15	25	6	10
h ₇	14:00	15:00	360	420	180	210	72	84
h ₈	09:00	17:55	60	595	30	297.5	12	119

Gerçek saat yerine periyot cinsinden tam sayı değerlerinin kullanılması sadece matematiksel model ve program kodlarının basitleştirilmesini sağlamamıştır; aynı zamanda programın çalışma zamanı üzerinde bir kontrol de getirmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde aynı hasta için farklı sayıda periyot kullanıldığı görülebilir. h₁ için toplam zaman penceresi büyüklüğü 1 dakikalık periyotta 30 iken, 2 dakikalık periyotta 15, 5 dakikalık periyotta ise 6 olmuştur. Her bir periyot için kullanılan zaman değerini büyütme daha az sayıda periyot kullanımı

olduğundan programa ait zaman karmaşıklığı da aynı ölçüde azalacaktır. Bu durum aşağıdaki algoritma ile anlaşılabilir

```

for indis!=n do
    if(hasta indisli konuma atanabilir mi)
        hastayı ata
    else
        continue
end for

```

Yukarıda sözde kodu verilen basit algoritmada n değerinin değişmesi döngü adım sayısını değiştirecektir. n değeri toplam periyot değeri olduğundan daha az sayıda periyot kullanmak bu işlemin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlayacaktır. Daha az sayıda periyot kullanmanın hassasiyeti düşüreceğini unutmamak gerekir. 5 dakikalık periyot aralığına sahip bir tasarımda ziyaret başlama ve bitiş dakikaları 5 ve 5'in katı olacaktır. Bu durumda saat 09.01'deki ziyaret saat 09.00'da ya da 09.05'te yapılmak zorunda kalacaktır.

Gerçek zaman değerine karşılık gelen periyot değerinin hesabı, aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir:

$$periyot = (gerçek\ saat - mesai\ başlangıç\ Saati) * \frac{60}{periyot\ genişliği} + \frac{(gerçek\ dakika - mesai\ başlangıç\ dakika)}{periyot\ genişliği} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'e göre mesai başlangıcının 08.00 olduğu, periyot genişliğinin de 1 dakika olduğunu varsayarsak saat 10.30 için periyot değerinin hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$periyod = (10 - 8) * \frac{60}{1} + \frac{(30-0)}{1} = 150$$

Periyot değerinden gerçek zamanı bulmak ise aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$saat = \left\lceil \frac{başlangıç\ saati * \frac{60}{periyot\ genişliği} + \frac{başlangıç\ dakika}{periyot\ genişliği} + (periyot * periyot\ genişliği)}{60} \right\rceil$$

$$dakika = (başlangıç\ saati * \frac{60}{periyot\ genişliği} + \frac{başlangıç\ dakika}{periyot\ genişliği} + (periyot * periyot\ genişliği)) \text{ MOD } 60 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'ye göre mesai başlangıcının 08.00 olduğu, periyot genişliğinin de 1 dakika olduğunu varsayarsak 150. Periyot için gerçek saat ve dakika verisinin hesabı aşağıda gösterilmiştir.

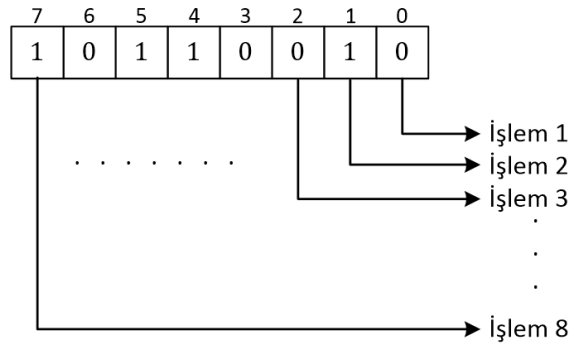
$$saat = \left\lfloor \frac{8 * \frac{60}{1} + \frac{0}{1} + (150 * 1)}{60} \right\rfloor = 10$$

$$dakika = (8 * \frac{60}{1} + \frac{0}{1} + (150 * 1)) \text{ MOD } 60 = 30$$

3.2.2. Hasta ihtiyaç ve sağlık çalışanı becerilerinin ikilik sayı olarak modellenmesi

Tez çalışmasında hastalara ancak uygun ekiplerin atanması sağlanmıştır. Hastanın ihtiyaç duyduğu işlemi yerine getiremeyecek olan ekiplerin atanmasına izin verilmemiştir. Literatürde bazı çalışmalar da bu konuya değinilse de yazarın yaptığı araştırmalara göre hasta ihtiyacı ve sağlık personeli beceri eşleşmesi hiyerarşik olarak belirlenmiştir (Trautsamwieser ve Hirsch, 2011; Nickel vd., 2012). Hiyerarşik eşleşmede sağlık çalışanları birkaç seviyeye ayrılmış ve üst beceriye sahip olan çalışanın daha az beceri gerektiren işlemleri yerine getirebileceği varsayımına göre atamalar yapılmıştır. Başka bir yaklaşımda ise sağlık çalışanların hangi hastalara bakabileceği bir liste halinde tutulmuştur (Cheng ve Rich, 1998; Eveborn vd., 2006; Mankowska vd., 2014). Bu şekilde sağlık çalışanlarının hangi hastalara atanması gerektiği listeden kontrol edilmiştir ve uygun olmayan hastalar atanmamıştır. Bir başka yaklaşımda ise hangi sağlık çalışanın hangi hastaya atanması gerektiği olasılık tabanlı olarak ele alınmıştır (Braekers vd., 2016).

Ayrıca bu üç yöntemden farklı olarak her bir ihtiyacın ve buna karşılık gelen becerinin ayrı bitlerle ifade edildiği ikilik sayılarla tanımlanması önerilmektedir. Önerilen yöntemde hastalara uygulanacak her bir işlem için bir bit kullanılacaktır. Eğer hasta için ilgili işleme gerek var ise bit değeri 1, gerek yoksa 0 olarak tanımlanır. Şekil 3.3'de hastaya uygulanması gereken her bir işlemin nasıl kodlanacağı görülmektedir.



Şekil 3.3. Hasta için gereken işlemlerin ikilik sayı olarak kodlanması

Şekil 3.3'deki model sekiz ayrı işlem için modelin nasıl olabileceğini göstermektedir. Her bir işlem için eğer ikilik değer 0 ise, o işlemin uygulanmayacağını, 1 ise uygulanacağını ifade etmektedir. Bu durumda Şekil 3.3'deki duruma göre; hastaya 2. 5. 6. ve 8. İşlemlerin uygulanması gerekmektedir. Diğer işlemler bu hasta için uygulanmayacaktır. Uygulamada kolaylık olması için ikilik sayı olarak kodlanmış olan hasta işlemleri onluk sayı sisteminde saklanacaktır. Şekil 3.3'deki gibi tanımlanan işlem bilgileri 8 bit yerine 32 bit ya da 64 bit olarak kullanıldığında daha çok işlem tanımlanabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında hastalara ziyaretler ekipler tarafından yapıldığından ve bir ekipte farklı becerilere sahip birden fazla sağlık çalışanı olduğundan ekibe ait genel beceri Şekil 3.4'deki gibi belirlenecektir.

7	6	5	4	3	2	1	0	
0	0	1	1	0	0	1	0	Sağlık çalışanı 1
7	6	5	4	3	2	1	0	
1	0	1	1	0	0	1	1	Sağlık çalışanı 2
7	6	5	4	3	2	1	0	
1	0	0	1	0	1	0	0	Sağlık çalışanı 3
.	.	.	.	.	.	.	.	} Sağlık çalışanı n
.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	
7	6	5	4	3	2	1	0	
1	0	1	1	0	1	1	1	Ekip genel yetenek

Şekil 3.4. Birden çok sağlık çalışanı olan ekiplerde ekip genel becerisi

Ekibe ait genel beceri ekip içindeki sağlık çalışanların ayrı ayrı beceri değerlerin bit tabanlı OR (VEYA) işlemine tabi tutulması ile bulunmaktadır. OR işleminde karşılıklı bütün bitler 0 ise sonuç sıfır, diğer durumlarda sonuç 1 olmaktadır. Bu çalışmada ilgili durum, ekipteki tek bir çalışanın bile bir işlemi yapabiliyor olması o ekip tarafından ilgili işlemin yerine getirilebileceğini ifade etmektedir.

Ekip için ikilik sayılarla tanımlanan beceri değerine karşılık hasta için ihtiyaç tanımı yapılacaktır. İkilik sayıdaki değerler, ekip için işlemi yapabilme durumunu ifade ederken, hasta için işleme ihtiyaç duymasıdır. Ekibin hastaya ziyaret gerçekleştirebilmesi için hastaya ait bütün ihtiyaçların karşılanabiliyor olması gerekir. Bunun için ekip ve hasta ikilik değerleri AND (VE) işlemine tabi tutulur ve elde edilen yeni değer hastanın değerine eşit ise o ekip hastanın sağlık bakım ihtiyaçlarını karşılayabilir. Eğer AND işlemi sonunda ortaya çıkan değer hastanın ihtiyaç değerinden farklı ise ekibin hastanın ihtiyaçlarını karşılayamayacağı anlamına gelir. Çizelge 3.3’de örnek verilerle özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Hasta ihtiyaç, ekip beceri eşleşmesi örnek veriler

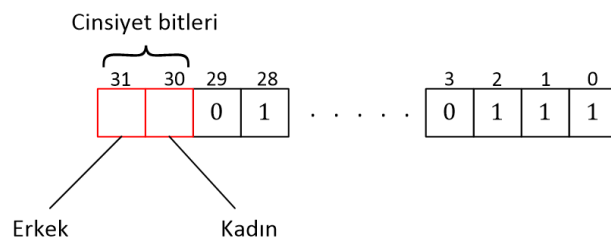
Örnek	Hasta	Ekip	Hasta AND Ekip	Atanabilir mi?
1	153	153	153	evet
2	153	160	128	hayır
3	153	161	129	hayır
4	153	155	153	evet
5	153	255	153	evet
6	0	0	0	evet
7	0	1	0	evet
8	0	255	0	evet
9	1	2	0	hayır
10	1	3	1	evet
11	1	5	1	evet
12	255	255	255	evet
13	255	512	0	hayır
14	255	1024	0	hayır
15	255	510	254	hayır

Çizelge 3.3’teki 1. satıra bakılırsa hasta için ihtiyaç değeri olan 153’ün ikilik karşılığı 10011001 dir. Ekip içinde beceri değeri yine 153 olduğundan 153 AND 153 işleminden yine 153 değeri elde edilir bu durumda bu ekip ilgili hastanın

ihtiyaçlarını karşılayabilir. 2. Satırdaki örneğe bakıldığında ise ekip için 160 olan beceri değerinin ikilik karşılığı 10100000 dir. Onluk sayı olarak 160 değeri 153 değerinden büyük olsa da 1. 4. ve 5. ihtiyaçları karşılayamadığı görülür. Bu durumda bu ekip, bu hastaya ziyarette bulunmamalıdır. Zaten AND işlemi sonunda elde edilen 128 değeri, 153'ten farklı olduğundan atama yapılmayacaktır. Eğer hastanın herhangi bir özel durumu yok ise, değeri 0 yapılır. Bu durumda bütün ekiplerin bu hastaya atanabilmesi mümkün olur.

3.2.2.1. Hastanın sağlık çalışanı cinsiyet tercihinin ikilik sayı ile hasta ihtiyacı gibi çözümü

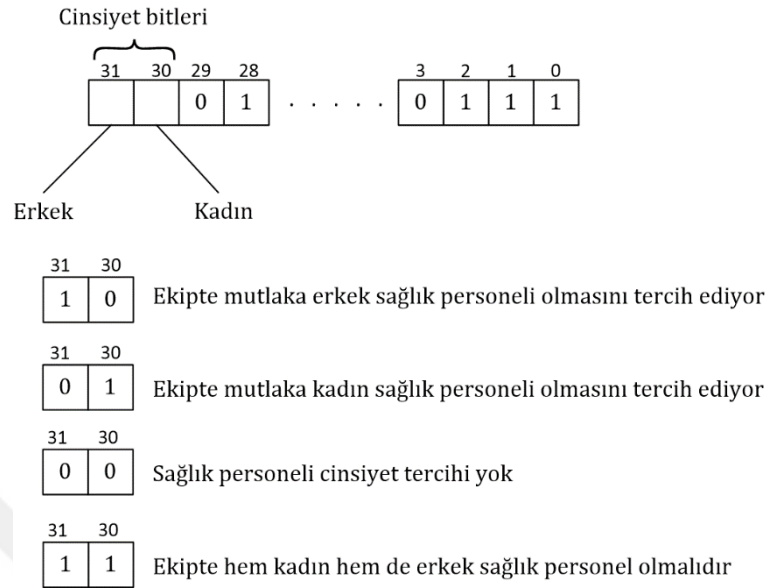
Hastalar, tedavide ortaya çıkabilecek mahremiyet açısından ya da keyfi olarak sağlık çalışanı cinsiyet tercihinde bulunabilirler. Tez çalışmasında, hastaların bu tercihlerini dikkate alan atamalar yapmak için hasta ihtiyacı ve hasta bakıcı beceri değerleri kullanılmıştır. Bu sayede modele yeni bir kısıt eklenmesi de gerekmemiştir. Cinsiyet tercihi çözümü için işaretli sayıların bilgisayarda saklanmasına benzer şekilde cinsiyet bitlerinin kullanılması önerilmektedir. Tez çalışmasında cinsiyet bitleri için erkek ve kadına ayrı bitlerin kullanımı önerilmiştir. Şekil 3.5'te hastaya uygulanabilecek işlemler için cinsiyet bitlerinin nasıl tanımlandığı görülmektedir.



Şekil 3.5. Hastaya uygulanacak olan işlemler için cinsiyet bitleri

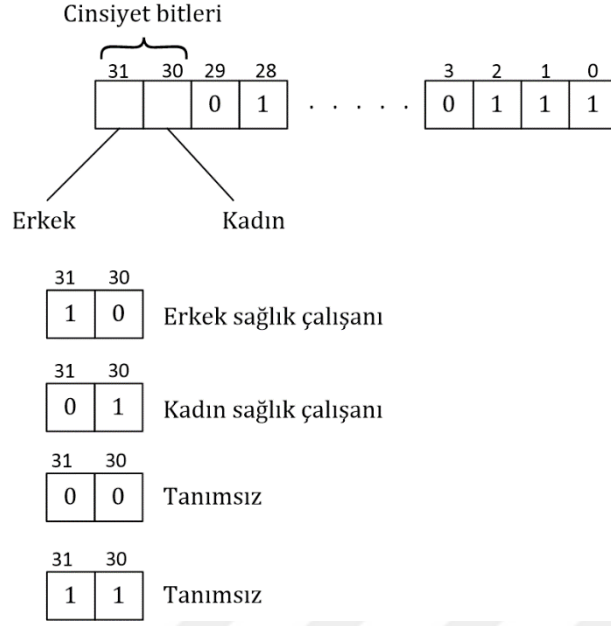
Şekil 3.5'deki gibi bir kullanımla toplam 32 bit için 32 ayrı işlem tanımı yerine 30 ayrı işlem tanımlanmakta soldaki 2 bit ise cinsiyet için ayrılmaktadır. Kullanılan değişken 64 bitlik olursa bu durumda 62 adet işlem için kullanılırken 2 bit de cinsiyet için ayrılacaktır.

Şekil 3.5’de gösterilen tanıma uygun olarak hastaların cinsiyet tercihleri için kullanılması öngörülen yapı ve tanımlar Şekil 3.6’da görülmektedir.



Şekil 3.6. Hasta cinsiyet tercihi için cinsiyet bitlerinin kullanımı

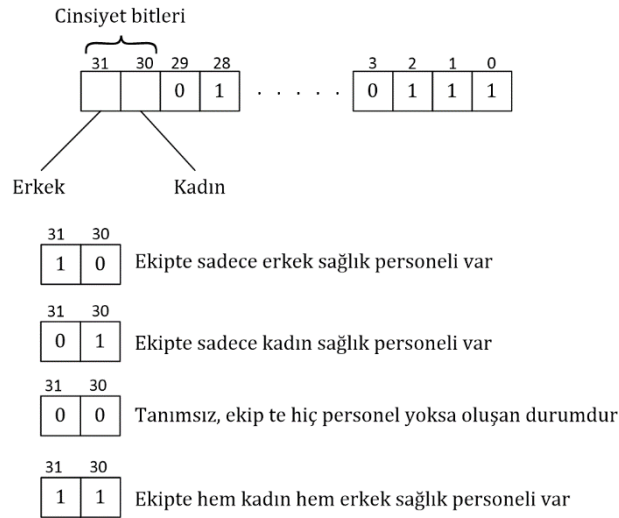
Cinsiyet için iki ayrı bit kullanılması ile hastanın her iki cinsiyet için ayrı ayrı tercih yapabilmesine imkân vermiştir. Şekil 3.6’da gösterildiği üzere 00 ile 11 aynı tanımlar değildir. Hasta 00 tanımı yapmış ise cinsiyet için özel bir tercih yoktur. Fakat 11 tercihinde mutlaka her iki cinsiyetten de personel bulunmasını gerektirir. Şekil 3.5’de gösterilen tanıma uygun olarak sağlık çalışanlarının cinsiyet tanımlarının nasıl yapılacağı Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Sağlık çalışanı cinsiyet biti tanımı

Şekil 3.7’de çalışan için cinsiyet tanımı, erkek ya da kadın olarak yapılmak zorundadır. Cinsiyet tanımı olmayan ya da iki ayrı cinsiyet tanımı yapılan tanımlamalar, matematiksel olarak uygun değildir. Bu yüzden bu değerler, tanımsız olarak belirlenmiştir.

Şekil 3.5’de gösterilen tanıma uygun olarak birden çok sağlık çalışanından oluşan ekipler için cinsiyet tanımlarının nasıl yapılacağı Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. Ekip için cinsiyet bitleri tanımı

Hasta ihtiyaç ve ekip beceri değerleri için cinsiyet bitlerinin uygun şekilde tanımı yapılmış ise cinsiyet eşleşmesi için Çizelge 3.3'deki eşleşmeler başka bir tanıma ihtiyaç duymadan çalışacaktır. Cinsiyet için ekstra bir işlem yapılmadan çözüm sağlanması, yazılan programın zaman karmaşıklığı için olumlu bir durum olarak düşünülmelidir.

3.2.3. Matematiksel model

Notasyonlar:

MM	: Periyot cinsinden maksimum mesai süresi
n	: Ziyaret edilmesi gereken sağlık merkezi dahil toplam hasta sayısı
m	: Ziyaretleri gerçekleştirecek olan toplam ekip sayısı, ekip sayısı aynı zamanda ziyaretlerin gerçekleştirdiği araç sayısıdır.
i,j	: Ziyaret noktalarını tanımlayan indisler, 0. indis sağlık merkezi, 1..n indisler ise hasta adresleridir.
k	: Ziyareti gerçekleştirecek sağlık ekibi indisi, 1..m
$Mem(x)$	: Hasta memnuniyetsizliğini ölçen özel bir fonksiyondur. $x \leq 0$ ise 0, değilse x değerini verir.
$Dec2Bin(x) = \{x \geq 0 \rightarrow (x)_2\}$	: Onluk tabandaki sayının ikilik tabandaki karşılığını dönen özel bir fonksiyon
$Bin2Dec(x) = \{x \geq 0 \rightarrow (x)_{10}\}$	: İkilik tabandaki sayının onluk tabandaki karşılığını dönen özel bir fonksiyon
$AND(x, y) = \{Bin2Dec(Dec2Bin(x) AND Dec2Bin(y))\}$	: x, y ikilisini bit seviyesinde AND işlemine sokar

Kümeler:

E	: Hasta ziyaretinde bulunacak ekip kümesi; $E = \{1..m\}$
H	: ESBH alacak olan hasta kümesi; $H = \{1..n\} + \{0\}$

Parametreler:

HIB_i	: i. hastanın ziyaretin başlamasını istediği en erken periyot
---------	---

- HIA_i : i. hastanın istediği bakım süresi dahil ziyaretin tamamlanması gereken en geç periyot
- $[HIB_i, HIA_i]$: i. ziyaret noktasındaki hastanın servis almak istediği zaman periyodudur. $HIA_i > HIB_i$, $HIA_i \geq 0$, Eğer ziyaret noktasının özel bir tercihi yok ise $HIB_i=0$, $HIA_i=MM$
- HPA_i : i. hastanın bakım süresi dâhil planlanan ziyaret bitiş periyodu
- HPB_i : i. hastanın planlanan ziyaret başlangıç periyodu
- $[HPB_i, HPA_i]$: i. hastanın ziyaretinin ortalama sonunda planlandığı zaman aralığıdır.
- Bs_i : i. hasta için önceden belirlenmiş beklenen bakım süresi,
 $Bs_i = HIB_i - HIA_i$, $Bs_0=0$ dır.
- Ho_i : Sağlık merkezi tarafından verilen hasta önceliği, 0-1 arasında ondalıklı bir değerdir. 0 değeri önceliğinin olmadığını, 1 değeri ise tam önceliğe sahip olduğunu gösterir. Hastalar için Ho_i değeri hastanın sağlık durumuna göre sağlık merkezinin belirlediği değerdir
- $ESIA_k$: k. ekibin sabah mesaisinin bitmesini istediği en geç periyot
- $ESIB_k$: k. ekibin sabah mesaisine başlamak istediği en erken periyot
- $[ESIB_k, ESIA_k]$: k. ekibin istediği sabah mesaisi zaman aralığını gösterir.
 $ESIA_k > ESIB_k$
- $EOIA_k$: k. ekibin öğle mesaisinin bitmesini istediği en son periyot
- $EOIB_k$: k. ekibin öğlen mesaisine başlamak istediği en erken periyot
- $[EOIB_k, EOIA_k]$: k. ekibin istediği öğle mesai zaman aralığını gösterir.
 $EOIA_k > EOIB_k$
- EOA_k : k. ekibin öğle arası zaman penceresidir. $EOA_k = EOIB_k - ESIA_k$: Eğer ekip öğle arası kullanmam istemez ise $EOIB_k = ESIA_k$ olur bu durumda $EOA_k = 0$ olacaktır.
- Ey_k : k. ekibinin uygulayabileceği işlemleri (beceri) gösteren ikilik kodlanmış sayısal değerdir. İkilik olarak tanımlanmış cinsiyet bitlerini de içeren tam sayı değerdir. Hg_i ile aynı uzunlukta olmak koşuluyla 32 bit ya da 64 bit olarak tanımlanabilir.
- Hg_i : i. hastanın ihtiyaç duyduğu sağlık bakımlarını gösteren ikilik kodlanmış sayısal değerdir. İkilik olarak tanımlanmış cinsiyet bitlerini de içeren tam sayı değerdir. Ey_k ile aynı uzunlukta olmak koşuluyla 32 bit ya da 64 bit olarak tanımlanabilir.
- $U_{i,j}$: i. ve j. noktalar arasındaki harita servisinden elde edilmiş gerçek uzaklık değeridir. Gerçek değerler kullanıldığından $U_{i,j}$ ile

$U_{j,i}$ değerler kavşak, ters yön gibi gerçek yol durumundan dolayı farklı olabilir.

$Z_{i,j}$: i. ve j. noktalar arasındaki uzaklık değeri, periyot cinsinden zamanı gösterir. Gerçek haritada değerleri kullanıldığında dolayı yol durumuna bağlı olarak $Z_{i,j}$ ile $Z_{j,i}$ değerleri farklılık gösterebilir.

Karar Değişkenleri:

$$ESM_k = \begin{cases} \text{Eğer ekibin sabah mesaisi varsa} & \rightarrow 1 \\ \text{Değilse} & \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$EOM_k = \begin{cases} \text{Eğer ekibin öğleden sonra mesaisi varsa} & \rightarrow 1 \\ \text{Değilse} & \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$B_{k,i} = \begin{cases} k. ekibin i. hastaya bakım ziyareti planlanmış ise & \rightarrow 1 \\ \text{Değilse} & \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$BSA_{k,i} = \begin{cases} k. ekibin sabah mesaisinde i. hastaya ziyareti planlanmış ise & \rightarrow 1 \\ \text{Değilse} & \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$BOS_{k,i} = \begin{cases} k. ekibin öğle mesaisinde i. hastaya ziyareti planlanmış ise & \rightarrow 1 \\ \text{Değilse} & \rightarrow 0 \end{cases}$$

$$ZS_{k,i,j} = \begin{cases} k. ekib için i. hastadan sonra j. hastaya ziyaret planlanmış ise & \rightarrow 1 \\ \text{Değilse} & \rightarrow 0 \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonları:

Amaç fonksiyonumuz aşağıdaki gibi çok amaçlı olarak ele alınmıştır.

$$F_1 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n ZS_{k,i,j} * U_{i,j} \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'te görülen F_1 fonksiyonu, bütün ekiplerin rotalarını tamamlamak için gereken metre cinsinden toplam tur mesafesidir.

$$F_2 = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n ZS_{k,i,j} * U_{i,j} - \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n ZS_{k,i,j} * U_{i,j}}{m} \right)^2} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te görülen F_2 fonksiyonu, ekiplerin rotalarını tamamlamak için gereken metre cinsinden tur mesafelerinin standart sapmasıdır.

$$F_3 = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n Z_{S_{kij}} * Z_{i,j} - \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n Z_{S_{kij}} * Z_{i,j}}{m} \right)^2} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'te görülen F_3 fonksiyonu, ekiplerin rotalarını tamamlamak için gereken periyot cinsinden tur mesafelerinin standart sapmasıdır.

$$F_4 = \sum_{i=1}^n [\text{Mem}(\text{HIB}_i - \text{HPB}_i) + \text{Mem}(\text{HPA}_i - \text{HIA}_i)] * \text{Ho}_i \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'ta görülen F_4 fonksiyonu; tercih ettiği zaman penceresi dışında ziyaret edilen hastaların, zaman penceresi dışına sarkan periyot değerlerinin toplamıdır.

$$F_5 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\text{ESM}_k(Z_{S_{k,i,j}} * \text{BSA}_{k,i} * \text{BOS}_{k,j} * \text{HPA}_i - \text{ESIA}_k)) + (\text{EOM}_k(\text{EOIB}_k - Z_{S_{k,i,j}} * \text{BSA}_{k,i} * \text{BOS}_{k,j} * \text{HPB}_j)) \quad (3.7)$$

Denklem (3.7)'de görülen F_5 fonksiyonu; sabah ve öğle mesai zaman tercihi dışında ziyaretler gerçekleştiren ekiplerin, mesai dışına sarkan periyot değerlerinin toplamıdır

$$\text{Minimize } F = a.F_1 + b.F_2 + c.F_3 + d.F_4 + e.F_5 \quad (3.8)$$

Denklem (3.8) görülen amaç fonksiyonunda a, b, c, d, e katsayıları, sağlık kuruluşu tarafından belirlenebilen ağırlıklardır. Belirlenen ağırlığa göre hangi amacın önemli olduğuna sağlık kuruluşu karar verebilir.

Kısıtlar:

$$\forall j \in \{0..n\} \ i \neq j, \quad \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n Z_{S_{k,i,j}} = 1 \quad (3.9)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, \quad \forall l \in \{1..n\}, i \neq j \neq l, \quad \sum_{i=0}^n Z_{S_{k,i,l}} = \sum_{j=1}^n Z_{S_{k,l,j}} \quad (3.10)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, \quad \sum_{j=1}^n Z_{S_{k,0,j}} = 1 \quad (3.11)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, \quad \sum_{i=1}^n Z_{S_{k,i,0}} = 1 \quad (3.12)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, Tz_k \leq MM \quad (3.13)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, \forall i \in \{1..n\}, AND(Hg_i, Ey_k) * B_{k,i} = Hg_i \quad (3.14)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, \forall i, j \in \{0..n\}, i \neq j, \quad Z_{S_{k,i,j}} * (HPA_i + Z_{i,j}) \leq (HPB_j) * Z_{S_{k,i,j}} \quad (3.15)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, \forall j \in \{0..n\}, \quad Z_{S_{k,0,j}} * (ESIB_k + Z_{0,j}) \geq Z_{S_{k,0,j}} * HPB_j \quad (3.16)$$

$$\forall k \in \{1..m\}, \forall i, j \in \{0..n\}, i \neq j, \quad Z_{S_{k,i,0}} * (HPA_i + Z_{i,0}) \leq Z_{S_{k,i,0}} * EOIA_k \quad (3.17)$$

Denklem 3.9, hastaların mutlaka ve sadece bir rotaya atanmasını garanti etmektedir.

Denklem 3.10, hasta adreslerine ulaşıldıktan sonra adresten ayrılarak, başka bir noktaya gidilmesini garanti etmektedir.

Denklem 3.11, ekiplerin ziyaretlerine sağlık merkezinden başlamasını garanti etmektedir.

Denklem 3.12, ekiplerin ziyaretlerinin sağlık merkezinde bitmesini garanti eder. Eşitsizlik 3.13, ekiplerin günlük çalışma sürelerinin günlük maksimum çalışma süresi içinde olmasını garanti etmektedir.

Denklem 3.14, hasta ziyaretini gerçekleştiren ekiplerin becerilerinin hastanın ihtiyaçlarını karşılamasını garanti etmektedir.

Eşitsizlik 3.15, ardışık olarak ziyaret edilecek hastalar için ilk hastadan çıkış ile ikinci hastaya ulaşma zamanı arasında en az yolculuk süresi kadar boşluk olmasını garanti etmektedir.

Eşitsizlik 3.16 ekibe atanan ilk ziyaret noktasındaki hastanın ziyaret başlangıç periyodunun yolculuk süresini de dikkate alarak ekip mesai başlangıcından sonra olmasını garanti eder. Ekibin sadece öğleden sonra için mesaisi varsa sabah başlama ve sabah bitiş mesai değerlerine öğlen mesai başlama değeri yazıldığından atamanın sabah ya da öğleden sonra olması durumları için iki ayrı eşitsizlik yazılmasına gerek kalmamıştır.

Eşitsizlik 3.17 ekibe atanan son ziyaret noktasındaki hastanın ziyaret bitiş periyodunun yolculuk süresini de dikkate alarak ekip mesai başlangıcından önce olmasını garanti eder. Ekibin sadece sabah mesaisi varsa öğle mesai başlangıç ve bitiş değerlerine sabah mesai bitiş değeri yazıldığından atamanın sabah ya da öğleden sonra olması durumları için iki ayrı eşitsizlik yazılmasına gerek kalmamıştır.

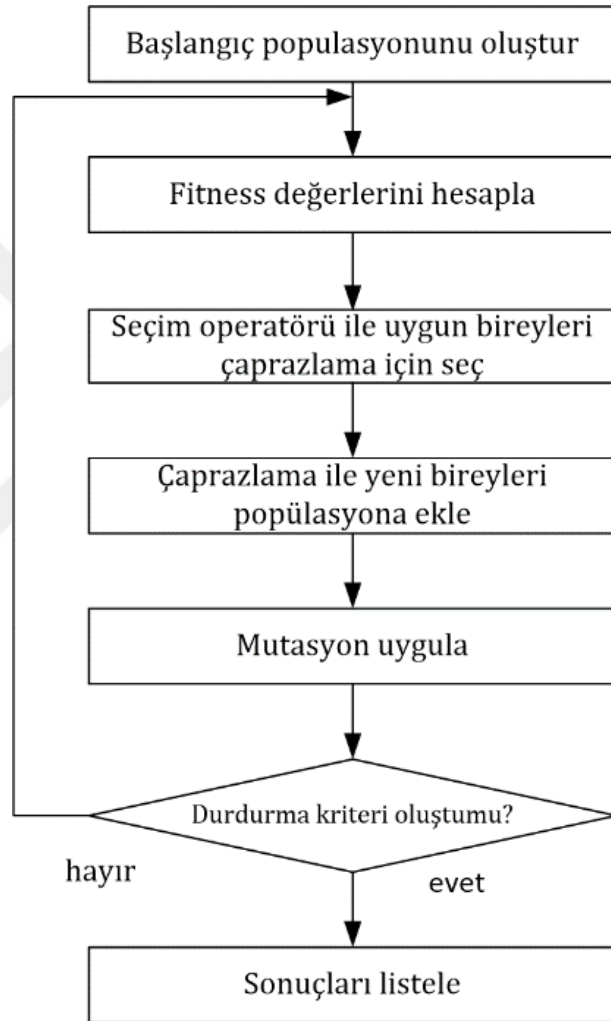
4. EVDE SAĞLIK BAKIMI ROTALAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Evde sağlık bakımı rotalama problemi literatürde kesin yöntemlerle (Fernandez vd., 1974; De Angelis, 1998; Borsani vd., 2006; Rasmussen vd., 2012; Wirnitzer vd., 2016; Liu vd., 2017), sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerle (Begur vd., 1997; Eveborn vd., 2006; Elbenani dv., 2008; Trautsamwieser ve Hirsch, 2011; Nickel vd., 2012; Braekers vd., 2016; Redjem ve Marcon, 2016; Shi vd., 2017; Tourangeau vd., 2017; Wang vd., 2020; Fathollahi-Fard vd., 2020) çözülmüştür. Kesin yöntemleri ve sezgisel yöntemleri birlikte kullanarak da (Cheng ve Rich, 1998; Mankowska vd., 2014; Maya Duque vd., 2015) çözümler vardır. Çok sayıda hasta için rotalama yapılacağında sezgisel yöntemler daha avantajlı sonuçlar vermektedir (Mankowska vd., 2014). Tez çalışması kapsamında 3. Bölümde tanımı yapılan ve matematiksel modeli çıkarılan problem rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılan GA ile (Salhi ve Petch, 2007; Azadeh ve Farrokhi-Asl, 2019; Baniamerian vd., 2019; Mehlawat vd., 2020) ve yazarın bu tez çalışmasında geliştirildiği greedy bir yöntemle ayrı ayrı çözülmüştür.

4.1. Genetik Algoritma ve Probleme Uygulanması

Evrimsel bir algoritma olan GA, John Holland tarafından geliştirilen en iyi olan hayatta kalır prensibine göre probleme ait birden çok çözümün öngörülen bir sonlanma kriterine kadar sürekli olarak çaprazlama, mutasyon ve seleksiyon ile evrimleşerek daha iyi sonuçlar üretmesini sağlamaya çalışan sezgisel bir optimizasyon ve arama algoritmasıdır (Mehlawat vd., 2020). GA probleme çözüm ararken popülasyonun oluşturulması, uygunluk fonksiyonunun hesaplanması, seçim, çaprazlama, mutasyon ve yeni neslin oluşması adımlarından oluşmaktadır. Öngörülen sonuç elde edilinceye kadar ya da belirli bir çalıştırma zamanı sonunda algoritma durdurulur. Başlangıçta oluşturulan popülasyona göre çözüme daha yakın yeni popülasyonun elde edilmesi beklenir. Şekil 4.1’de GA’nın çalışmasını gösteren akış şeması görülebilir. GA’nın probleme uygun olarak başlangıç popülasyonun oluşturulması rastsal olarak olabileceği gibi tur kurucu bir yöntemle de oluşturulabilir. Uygunluk değerleri ile her bir aday çözümün istenilen sonuca olan uzaklığı ya da yakınlığı hesaplanmaktadır. Daha sonra

uygunluk değerlerine göre seçilen kromozomlar seçilen çaprazlama yöntemi ile yeni bireyler oluşturulur. Çaprazlama ile yeni birey oluşturmada ki temel prensip, iyi bireylerden oluşturulan yeni bireylerin daha da iyi olabilme olasılığıdır. Tabii ki bu durum garanti edilemez. Mutasyon ise problemin lokal optimum noktalara takılmasını engellemek için kullanılır. Mutasyon ile birbirine benzer çözümlerin çeşitlenmesi sağlanmaktadır. Mutasyon yöntemleri de çaprazlamada olduğu gibi problem türüne göre farklı şekillerde olabilmektedir.

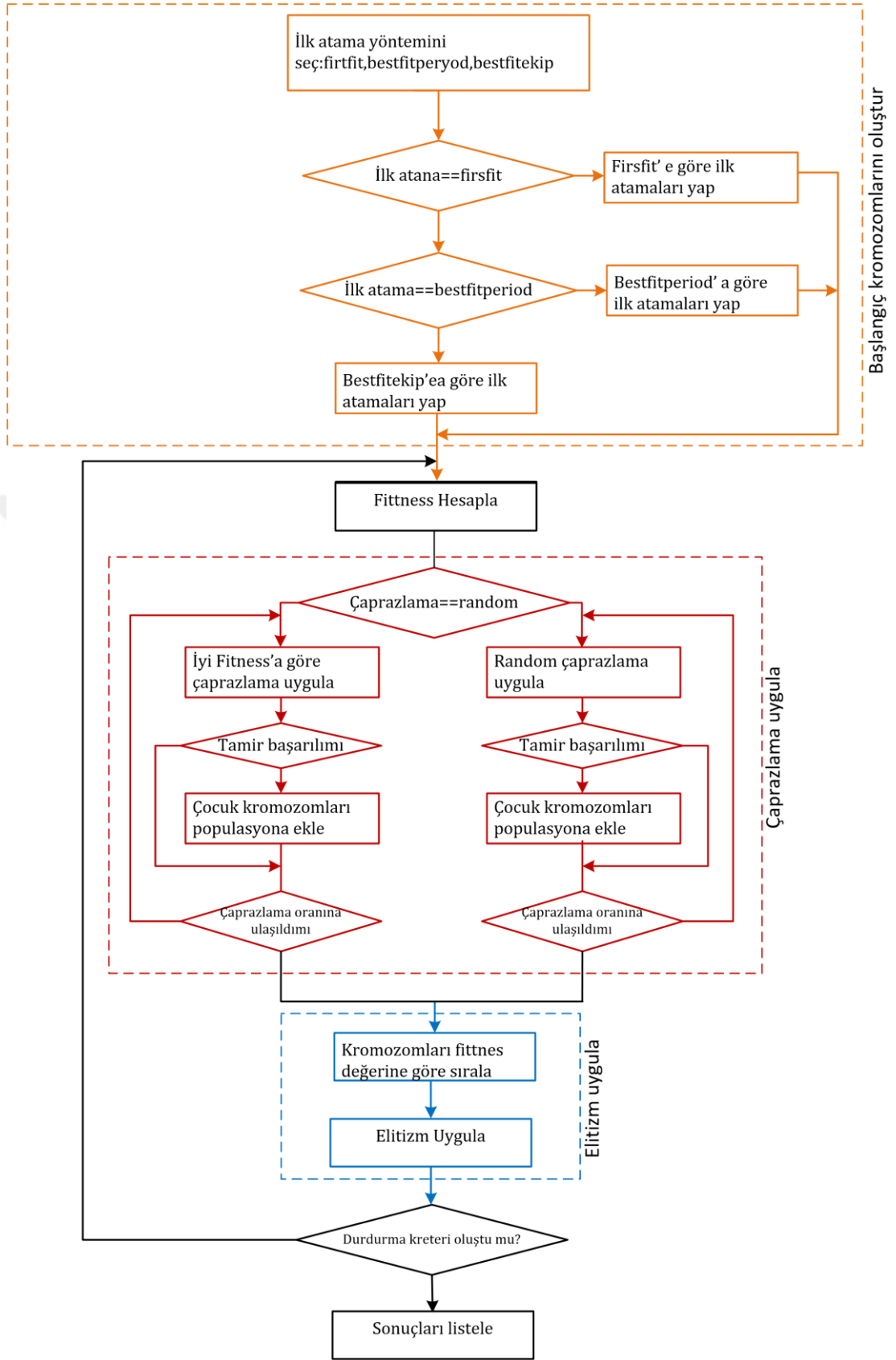


Şekil 4.1. Genetik algoritma çalışması akış diyagramı

Algoritma durdurma kriteri ile sonlandığında popülasyonda ki bireylerin çözüme ulaşmış olması ya da çözüme yaklaşmış olması beklenir. GA sezgisel bir yöntemle rastsal olarak çözüm aradığından her zaman en iyi çözümü garanti edemez. Fakat makul bir sürede kabul edilebilir çözümler sunar. Hasta ve çalışan zaman

penceresi, hasta ihtiyaçları ile sağlık çalışanı becerisi eşleşmesi gibi birden çok kısıdın sağlanmak zorunda olması ve ayrıca hasta ziyaret rotalarının minimize edilmeye çalışılması evde sağlık bakımı rotalama problemini NP-hard problem sınıfına sokmaktadır (C. C. Lin vd., 2018). GA'nın makul bir sürede kabul edilebilir çözümler sunması NP-hard problemlerde kullanılabileceğini göstermiştir (Y.-K. Lin vd., 2017; Ahmadi vd., 2018).

Problemin zm için önerdiğimiz GA'nın çalışmasını gösteren akış şeması şekil 4.2'de görülebilir. Çalışmada GA başlangıç kromozomlarının oluşturulması, çaprazlama ve elitizm olmak üzere parçalara bölünmüştür. Çaprazlama algoritması içinde mutasyon uygulandığından ayrıca bir mutasyon işlemi kullanılmamıştır.



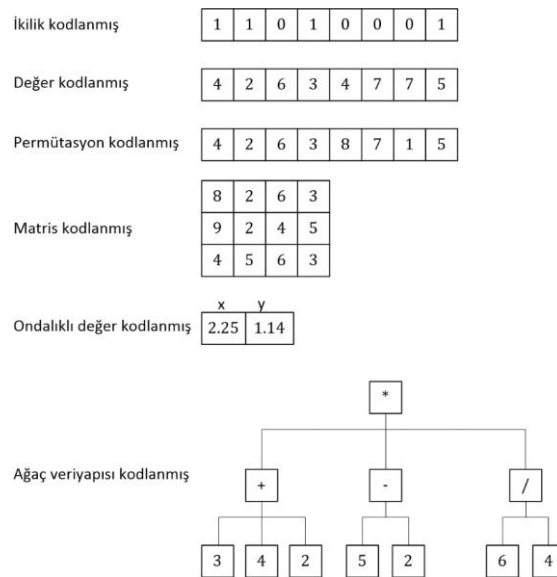
Şekil 4.2. Problem için geliştirilen GA'nın çalışması

4.1.1. Gen yapısı

GA da probleme ait en küçük verinin saklandığı yapılar genlerdir. Genler bir araya gelerek çözüm adayını oluşturan kromozomları oluştururlar. GA için genel bir gen yapısından bahsedilemez. Probleme özgü olarak değişik şekillerde tanımlanabilir. Genler ikilik olarak, tamsayı değer olarak ya da bu tez çalışmasındaki gibi permütasyon olarak kodlanabilir. Tez çalışmasında kromozom içindeki genler, hastaları tanımlayan sayısal bir değeridir. Gün içinde ziyaret edilmesi gereken noktalar, sağlık merkezi dışında permütasyon kodlama ile kromozomlarda yer almaktadır. Sağlık merkezi ise ziyaretlerin başlangıç ve bitiş noktası olduğunda her rotanın başlangıcı ve bitiş sağlık merkezine ait genden oluşmaktadır.

4.1.2. Kromozom yapısı

Probleme ait aday bir çözümü içeren gen dizilerine, kromozom denir. Kromozomlar, probleme özgü olarak tek boyutlu, çok boyutlu ya da ağaç veri yapısı gibi özel şekillerde olabilmektedir. Kromozom yapısı probleme göre ikilik olarak, değer olarak ya da rotalama ve atama problemlerinde sıklıkla kullanılan permütasyon olarak kodlanabilir. Şekil 4.3’de farklı şekillerde kodlanmış örnek kromozom yapıları görülebilir.



Şekil 4.3. Farklı türlerde kodlanmış kromozom yapıları

Tez çalışması kapsamında ele alınan evde sağlık bakımı rotalama problemi çözümü için kromozomlar, permütasyon kodlama ile oluşturulmuştur. Permütasyon kodlanmış gen yapılarında bir küme içindeki bütün değerler kesin olarak ve tam bir kere yer alarak kromozom yapısı elde edilmektedir. Rotalama problemlerinde bu durum her noktanın tam olarak bir kere ziyaret edilmesi olarak düşünülmekten kaynaklanmaktadır. Her rota, sağlık merkezinden başlayıp, sonlandığından her rotanın başına ve sonuna sağlık merkezi eklenmiştir.

Evde sağlık bakımı rotalama problemi KARP ve hasta sağlık çalışanı eşleşme probleminin birleşimi olduğundan kromozom yapısı da KARP problemlerinde kullanılan yapılara benzemektedir. Literatürde GA ile yapılmış çalışmalarda farklı kromozom yapılarının kullanıldığı görülmektedir. KARP ve ARP için kromozomu tek boyutlu bir dizi gibi tutan çalışmalar vardır (Baker ve Ayechev, 2003; Vaira ve Kurasova, 2014) Baker ve Ayechev in 2003 de önerdikleri kromozom yapısı (Baker ve Ayechev, 2003) Şekil 4.4’de görülmektedir

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
k1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	1
k2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	1	4

Şekil 4.4. Baker ve Ayechev tarafından ARP için önerilen kromozom yapısı(Baker ve Ayechev, 2003)

Şekil 4.4’deki kromozom yapısında bütün rotalar doğrusal bir dizide tutulmuştur. k1 ile belirtilen kromozomda 1,2,3,4,20 noktaları 1. Rotayı; 5,6,7,11 noktaları 2. Rotayı; 8,9,11,12,13,14 noktaları 3. Rotayı; 15,16,17,18,19 noktaları ise 4. Rotayı göstermektedir. Rotaların bu şekilde düz bir liste gibi tutulması, çaprazlama açısından da kolaylık sağlamaktadır. Bu tür yapılar eş özelliklere sahip araçlar ya da ekipler için uygun olsa da bizim yaptığımız çalışmada olduğu gibi ziyaret edilecek her noktada uygulanması gereken farklı işlemler olabileceğinden ve bütün ekipler bu becerilere sahip olmadığından evde sağlık bakımının rotalama problemi için uygun bir yapıda olmadığı düşünülmektedir.

Araç rotalama problemlerinde sıklıkla kullanılan bir diğer kromozom yapısı ise Matris şeklinde iki boyutlu kodlanan yapılardır. Bu tür yapılarda her satır, araçları ifade ederken, satırdaki noktalar ise aracın ziyaret güzergâhını göstermektedir. Şekil 4.3’de matris şeklinde kodlanmış bir örnek kromozom yapısı vardır. Şekilde 3 satır olduğundan üç ayrı rota olduğu varsayımı yapılabilir. Bu rotalardan 1. Rotanın ziyaret sırası 8-2-6-3 şeklinde olacaktır 8 numaralı nokta ilk ziyaret noktası iken 3 numaralı nokta son ziyaret noktasıdır. Bu tez çalışmasında hasta ziyaretleri birden çok ekiple yapılacağından ve ekipler her rota içinde birden çok hasta noktasına uğrayacaklarından, kromozomlar matris yapısına benzeyecektir. Fakat her rotada ekiplerin çalışma zamanı, ekip becerileri farklı olduğundan ve hasta adresleri arasındaki mesafelerden dolayı her rotanın aynı sayıda hastayı ziyaret etmesi mümkün değildir. Kromozom yapımız araç rotalama problemlerinde daha önce kullanılmış olan (Tan vd., 2001; Nazif ve Lee 2012) her satırında farklı sayıda nokta olan iki boyutlu bir dizi gibi kodlanmıştır. Şekil 4.5’de tez çalışmasında kullandığımız kromozom yapısı görülebilir

Kromozom₁

ekip ₁	0	4	1	8	20	3	0	
ekip ₂	0	19	2	10	0			
ekip ₃	0	15	5	16	9	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	17	0		
ekip ₅	0	14	11	0				

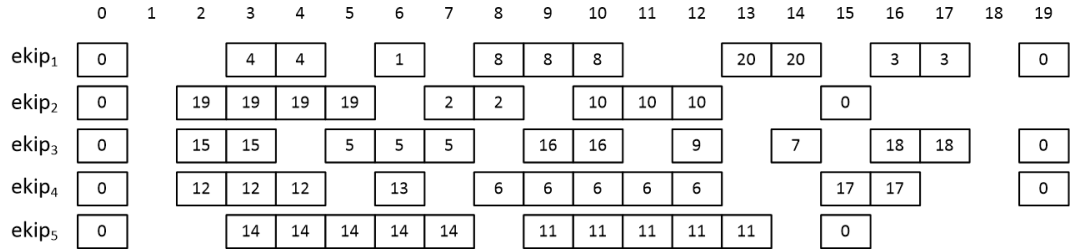
Kromozom₂

ekip ₁	0	4	1	8	20	0		
ekip ₂	0	10	19	2	0			
ekip ₃	0	15	5	9	16	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	0			
ekip ₅	0	3	11	14	17	0		

Şekil 4.5. Önerilen kromozom yapısı

Şekil 4.5’de önerilen kromozom yapısında satırlar ekipleri gösterirken, satır içindeki her bir değer ekibin ziyaret rotasını göstermektedir. Kromozom₁ de ekip₁ sağlık merkezinden başlayarak 4-1-8-20-3 hastalarını ziyaret etmelidir. Problemin zaman karmaşıklığının azalması için hastaların zaman tercihleri kromozom üzerinde tutulmamıştır. Kromozom yapısı Şekil 4.5’deki gibi olduğunda algoritmanın zaman karmaşıklığını etkileyen tek bir kromozomun boyutu = $hastasayısı + rotasayısı * 2$ adet olmaktadır. Yaklaşık 20 hasta ve 5 ekip için $20+5*2=30$ gibi bir sonuç verecektir. Kromozom yapısını Şekil 4.5’deki

gibi yapmak yerine Şekil 4.6'deki gibi tüm periyotları tanımlayarak yapılması durumunda bir kromozomun boyutu $\cong \text{periyodsayısı} * \text{rotasayısı}$ kadar olacaktır. Şekil 4.6'da periyot değeri örnek olması için 20 alınsa da tez çalışmasında bu değer 600 civarındır. Bu durumda 5 ayrı ekip için toplam kromozom boyutu yaklaşık $600 * 5 \cong 3000$ gibi bir değere ulaşacaktır.



Şekil 4.6. Kromozom yapısının bütün periyotları kapsayacak şekilde tanımlanması

Şekil 4.5'de önerilen kromozom yapısı, zaman karmaşıklığı avantajı olduğundan kullanılmıştır. Fakat bu yapıda hasta ziyaret sırası belli iken ziyaret periyotları tanımlı değildir. Bunu çözmek için hasta ziyaret periyotları gen yapısına eklenmiştir. Gen yapısı hasta numaralarını ifade etse de bu değer programda bir nesne olarak kodlanmış ve nesne içinde hasta numarası ile birlikte hastanın ziyaret için atandığı zaman penceresi de tanımlanmıştır. Oluşturulan gen yapısına ait nesne modeli Şekil 4.7'de görülebilir.

Gen
+hasta : Hasta
+atandigiTimeWindow : TimeWindow
-genCeza : int
-sirasi : int
+GenCezaHesapla()

Şekil 4.7. Hasta zaman tercihlerinin nesne olarak tanımlanmış Gen yapısında saklanması

Hastaları temsil eden gen yapısındaki atandigiTimeWindow değeri hastaya planlanan ziyaret başlangıç ve bitiş değerleridir. Gen yapısı içindeki bu değer, her genetik operatörden sonra güncellenmektedir.

4.1.3. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Evrimsel algoritmalarda başlangıç popülasyonun seçimi algoritmanın doğru sonuç vermesini ve sonuca ulaşma hızını etkileyen önemli bir faktördür (Rahnamayan vd., 2007). Yazarın yaptığı literatür taramasına göre ARP, KARP ve ESBHRP için başlangıç popülasyonun oluşturulmasında tamamen random atama (Louis vd., 1999; Ghoseiri ve Ghannadpour, 2010; Ruiz vd., 2019; Gunawan vd., 2019; Ouertani vd., 2019; Algethami vd., 2019; Posada vd., 2020;), greedy random atama (Ait vd., 2016, 2019; Erdem ve Koç, 2019;) ve Insertion Heuristic (Alvarenga vd., 2007; Vaira ve Kurasova, 2014;) gibi yöntemler kullanılmıştır. Tez çalışmasında hasta ve ekip için beceri eşleşmesi gerektiğinden ve ziyaretler için hem hasta hem de sağlık çalışanı zaman penceresi bulunduğundan random atamanın probleme uygun olmadığı düşünülmektedir. Tez çalışmasında hasta ziyaretleri için hastaların zaman tercihinin olması ve zaman pencereli optimizasyon problemlerimde sıklıkla kullanılan Insertion Heuristic Algoritması (Gendreau vd., 1998; Diana ve Dessouky, 2004; Lu ve Dessouky, 2006; Campbell ve Savelsbergh, 2004; Joubert ve Claasen, 2006; Herbawi ve Weber, 2012) kendimize göre uyarlanarak kullanılmıştır. Tez çalışmasında başlangıç rotalarının oluşturulmasında üç ayrı yöntem uygulanmıştır. Bunlar; ilk uygun yere atama yapmak, sıkışık periyota sahip hastaları önce atama, ekip kaynağı kısıt olan hastaları önce atama yapmak şeklindedir. Başlangıç kromozomlarının farklı yöntemlere oluşturulabilmesi sayesinde aynı veri kümesi farklı şekillerde çalıştırılmakta ve daha iyi sonuç veren yöntem seçilebilmektedir. Her üç yöntemde sezgisel olması ve rastsallık içermesinden dolayı popülasyon büyüklüğüne ulaşıncaya kadar algoritmalar defalarca çalıştırılarak farklı rotalar elde edilmiştir. İlk atama yönteminde rastsallık olmasından dolayı aynı çözümü içeren birden fazla kromozom olması mümkündür. Çalışmada bu durum kontrol edilmemiştir.

4.1.3.1. Başlangıç kromozomlarının ilk uygun yere atanması ile oluşturulması

İlk atama için kullanılan bu yöntemde atama yapılması gereken hasta listesinden rastgele seçilen bir hasta, rastgele bir şekilde uygun bir rotaya yerleştirilmeye çalışılır. Yöntem paralel olarak her rotayı kontrol edebilmektedir ve ilk bulunan uygun yere hasta yerleştirilir. Hastaların atanabileceği rota listesi ya da rotalara atanabilecek bir hasta listesi tutulmamıştır. Bunun yerine hastalar rotalara yerleştirilirken hasta ihtiyaç ve ekip beceri eşleşmesi, hasta ve sağlık çalışanı zaman penceresi dikkate alınmaktadır. İlk atamada rotaların toplam mesafesi ve toplam kat edilecek zaman değeri dikkate alınmamaktadır. Toplam mesafenin azaltılması işlemi GA operatörleri ile yapılmaktadır. Hasta atamalarının rastsal olarak ilk bulunan uygun yere atanması, ekip beceri kaynağına ya da zaman kaynağına dikkat etmeden çalışmaktadır. Bu durum algoritmanın basit olmasını sağlamıştır. Fakat kıt kaynaklı veri kümeleri için yapılan deneylerde bu yöntem ilk atamada başarısız sonuçlar verebilmektedir. Algoritmada hem hasta seçimi hem de ekip seçimi rastgele olduğundan her seferinde farklı sonuçlar vermektedir. Bu rastsallık sayesinde algoritma kromozom sayısı kadar çalıştırılarak, popülasyondaki kromozom sayısının üretilmesi sağlanmıştır. Üretilen kromozomların benzerlik kontrolleri yapılmamıştır.

İlk atama için kullanılan; ilk bulduğun uygun yere atama, en uygun periyoda göre atama ve en uygun beceri değerine göre atama algoritmalarının üçünde aynı olan kısımları vardır. Bu kısımlar ayrı bir altıyordam olarak kodlanmıştır. Aşağıda bu altıyordamlar vardır.

```
Procedure bool MesaiSarkmasivar(ekip,t1, t2) do
    if(t1<=ekip.sabahMesai.t2 && t2>=ekip.ogleMesai.t1)
        return true
    else
        return false
End Procedure
```

MesaiSarkmasiVar altıyordamı, yapılacak yeni atamanın ekibe ait sabah mesaisinde başlayıp bitmesini ya da öğle mesaisinde başlayıp bitmesini kontrol

etmektedir. Eğer yapılacak atama ile ziyaret başlangıcı sabah mesaisinde başlayıp öğle mesaisinde sonlanıyor ise atama işleminde mesai sarkması var demektir. Bu algoritma eğer mesai sarkması var ise geriye true değer dönmekte, eğer mesai sarkması yok ise “false” değer dönmektedir. Her ekibin mesai başlangıcı ayrı zaman periyotları içerdiğinden kontroller ekibe göre yapılmaktadır.

```
Procedure bool AtamaYap(ekip, hasta) do
  if ((ekip.skill & hasta.skill)!=hasta.skill) return false
  for i!=ekip.rota.count-1 do
    gen1←ekip.rota[i]
    gen2←ekip.rota[i+1]
    uzaklik1←distanceMatrix[g1,hasta] //period
    uzaklik2←distanceMatrix[hasta,g2] //period
    t1←g1.timeWindow2+uzaklik1
    t2←t1+hasta.bakimperiod
    if (t2>hasta.timeWindow2) continue
    if(t1<hasta.timewindow1)
      t1←hasta.timeWindow1
      t2←t1+hasta.bakimperiod
    end if
    g2varisTime←t2+uzaklik2
    if (MesaiSarkmasiVar(ekip,t1,t2)) continue
    if(g2varisTime>g2.timewindow1) continue
    rota.insert(i+1,hasta,t1,t2)
    return true //atama yapıldı
  end for
  return false //bütün noktalara bakıldı uygun konum yok
End Procedure
```

AtamaYap altyordamı seçilmiş bir ekibin rotasına seçilmiş bir hastayı yerleştirmeye çalışan bir algoritmadır. Bu yerleştirmeyi yaparken ekibe ait mevcut rotayı bozmamalıdır. Ayrıca atamalar, ihtiyaç-beceri açısından uygun olmalı, hasta ve ekibin istediği zaman penceresi içinde yer almalıdır. Bütün bu kontroller sonucunda hasta için uygun bir konum bulunursa hasta bu konuma yerleştirilir ve geriye atama yapıldığını belirtmek için “true” değer döner, eğer herhangi bir sebeple atama yapılamaz ise atamanın yapılamadığını belirtmek için geriye “false” değeri döner.

AtamaYap alt yordamı kendisini çağıran ilk atama yönteminden bağımsız çalışmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan ilk kromozomları oluşturan üç yöntem de atamalar için AtamaYap alt yordamını kullanabilmektedir.

Procedure HastaAtamasiFirsfit()

```
hastalListesi ← gün içinde ziyaret edilecek hastalar
while hastalListesi.count != 0 do
    rotaListesi ← gün içinde çalışacak ekip listesi
    atadim ← false
    hasta ← RandomHastaSec(hastalListesi)
    while rotaListesi.count != 0 do
        rota ← RandomRotaSec(rotaListesi)
        atadim ← AtamaYap(ekip, hasta)
        if (atadim == true) break // hasta atandı döngüden çık
        rotaListesi.Remove(rota)
    end while // rotaListesi
    if (atadim == false)
        atanamayanHastaList.Add(hasta)
        return // herhangi bir rotaya yerleşemeyen hasta var
    end if
    hastalListesi.Remove(hasta)
end while // hastalListesi
```

End Procedure

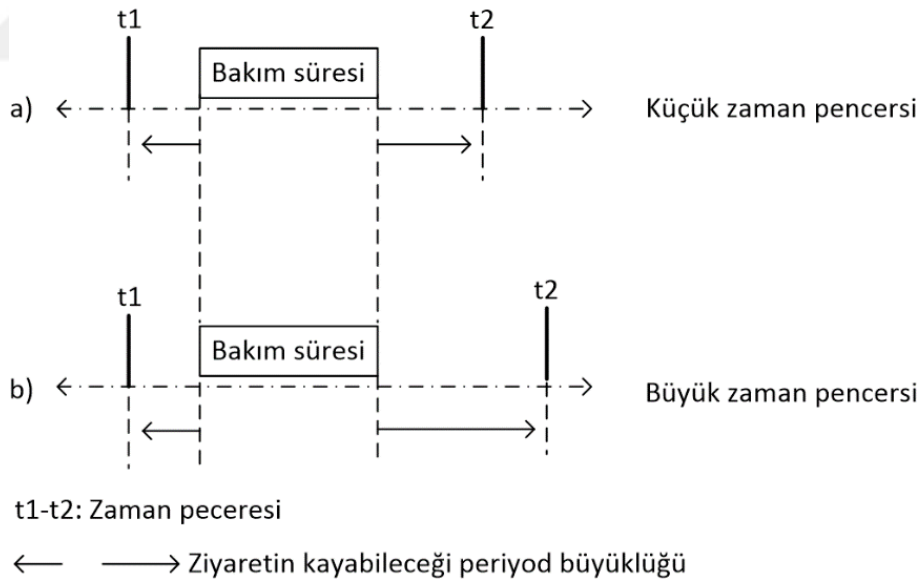
HastaAtamasiFirsfit algoritması rastgele seçilen bir hastayı rastgele seçilen bir rotaya atamaya çalışır. Eğer seçilen rotaya atama yapılamaz ise o rota listeden silinerek işlem tekrar edilir. Rota listesi tamamen boşalmış ise hasta için uygun rota olmadığına karar verilir. Bu durumda bu kromozom eksik gene sahip demektir ve popülasyona dâhil edilmez. Yöntem popülasyondaki kromozom sayısı tamamlanıncaya kadar çalıştırılır. Popülasyonun oluşması için belirlenen deneme sonunda eksik popülasyon sayısı ile GA operatörleri çalıştırılır.

4.1.3.2. Başlangıç kromozomlarının en uygun periyot ataması ile oluşturulması

İlk popülasyonun en uygun periyoda göre oluşturulmasındaki temel amaç, periyodları bir kaynak gibi düşünüp hastanın önceliğini de dikkate alarak bir atama gerçekleştirmektir. Denklem 4.1'deki gibi hesaplanabilir

$$\text{PeriyoduKullanmaOlasılığı} = \text{öncelik} * \frac{\text{bakım için gereken periyot}}{t_2 - t_1} \quad (4.1)$$

Hastanın bakımı için gereken zaman periyodunun ne kadar kayabileceği ölçülmektedir. Bu formülde eşit önceliğe ve eşit zaman periyoduna sahip iki hastadan atama önceliği bakım süresi daha uzun olanda olacaktır. Bunun sebebi daha uzun bakım süresi gereken hastanın bakım zamanının kayabileceği periyodun daha düşük olmasıdır. Şekil 4.8'de bu durum görülmektedir. Şekil 4.8'deki duruma uygun yazılmış atama algoritması da HastaAtamasiBestFitPeriyot aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.8. Hasta bakım süresinin zaman penceresi içinde kayabilmesi

Procedure HastaAtamasiBestFitPeriyot()

```
hastalListesi ← gün içinde ziyaret edilecek hastalar
atanacakHastalListesi ← null
foreach(hasta in hastalListesi) do
    indis=0
    foreach(konum in atanacakHastalListesi) do
        hastaoncelik=hasta.oncelik*hasta.bakim/(hasta.t2-hasta.t1)
        konumoncelik=konum.oncelik*konum.bakim/(konum.t2-konum.t1)
        if(hastaoncelik>konumoncelik) break
        indis++
    end for //konum for
    atanacakHastalListesi.Insert(indis,hasta) //atama sırasını oluşturdu
end for //hasta for
while atanacakHastalListesi.count !=0 do
    rnd1=RandomSayı(0, atanacakHastalListesi.count)
    rnd=RandomSayı(0, rnd1+1) //baştaki hastaların şansını artırır
    hasta ← atanacakHastalListesi[rnd]
    rotalListesi ← gün içinde çalışacak ekip listesi
    atadim ← false
    while rotalListesi.count !=0 do
        rota ← RandomRotaSec(rotalListesi)
        atadim ← AtamaYap(ekip, hasta)
        if(atadim==true) break //hasta atandı döngüden çık
        rotalListesi.Remove(rota)
    end while //rotalListesi
    if(atadim==false)
        atanamayanHastaList.Add(hasta)
        return //herhangi bir rotaya yerleşemeyen hasta var
    end if
    hastalListesi.Remove(hasta)
end while //hastalListesi
```

End Procedure

Şekil 4.8a ile Şekil 4.8b’de ziyaret için gereken bakım süreleri aynıdır. Fakat Şekil 4.8b’deki planda bakımın kayabileceği periyot değeri daha büyüktür. Bu durumda Şekil 4.8a’daki hastaya uygun yer bulma olasılığı Şekil 4.8b’deki hastadan daha düşük olacağından öncelik Şekil 4.8a’daki hastada olacaktır. Hastaların sağlık sebebinden kaynaklanan öncelikleri bu durumu değiştirebilir.

Hasta atamalarında daha sıkışık olan ve önceliği olan hastaların önce atanması için algoritmada hasta atama sırası oluşturulmuştur. Hasta atama sırası ile atanma önceliği daha yüksek olan hastalar başta yer almaktadır. Algoritma atanma sırasını doğrudan takip etmemektedir. Bunun yerine baştaki hastaların seçilme şansını artıran bir yöntem seçilmiştir bu sayede kromozomların farklı olması da sağlanabilir. Şekil 4.9'a bakarak seçilme olasılığının nasıl olduğu anlaşılabilir.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h5	h3	h7	h2	h1	h6	h4	h9	h10	h8

Şekil 4.9. Hasta seçilme olasılığı

Şekil 4.9'da hastalar seçilme olasılıklarına göre ardışık olarak sıralanmıştır. Baştaki hastaların seçilme şansını artırmak için izlenen yöntem, iki adet rastgele sayı üretilerek sağlanmıştır. İlk rastgele sayı dizi boyutu kadar üretilmiştir. Şekil 4.9 için bu değer 0-9 aralığında olacaktır. Üretilen ikinci değer ise, 0-ilk sayı aralığında olacaktır. Bu sayede baştaki indislerin şansı artar. 10 elemanlı bir listede son eleman olan 9. elemanın seçilme olasılığı 1/100 iken, sondan bir önceki eleman için olasılık 1/100+1/90 olacaktır. Bunun sebebi 8. Elemanın seçilmesi için 2 ihtimal vardır. Birinci ihtimal, önce 9 sonra 8 seçilebilir. Bu durumda olasılık 1/100 dür, ikinci ihtimal ise önce 8 sonra 8 seçilir burada da ihtimal 1/90 tır. Liste başına doğru geldikçe bu şekilde ihtimaller artmaya devam edecektir. 10 elemanlı bir dizi için seçilme olasılıkları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir

Çizelge 4.1. Hasta önceliğini dikkate alan atama için seçilme olasılıkları

İndis	Olasılık
9	0.01
8	0.021111111
7	0.033611111
6	0.047896825
5	0.064563492
4	0.084563492
3	0.109563492
2	0.142896825
1	0.192896825
0	0.292896825

Hastaların seçilme şansı Şekil 4.9'deki gibi bir liste olarak oluşturulduktan sonra hastaların rotalara atanması için AtamaYap alt yordamı ile atamalar gerçekleştirilmiştir.

4.1.3.3. Başlangıç kromozomlarının en uygun ekip ataması ile oluşturulması

İlk kromozomların oluşturulmasında bu yöntemin kullanılmasının amacı ekiplerin becerilerini optimum kullanabilmektir. Hastaya uygulanması gereken işlemlerin her birinin ayrı birer bitle ifade edilebilmesi ile her bir işlemin ayrı ayrı ne kadar gerektiği ve bu işlemi gerçekleştirebilecek kaç ekibin olduğu dikkate alarak atamalar yapmayı amaçlamaktadır. Örneğin elimizde 1011 gibi tek ekip becerisi varsa bu ekibi, 1011 bitlerinin alt kümesi olan 0000, 0001, 0010, 0011, 1000, 1001, 1010, 1011 hastalarına atayabiliriz. Fakat bu hastaların bazıları başka ekiplere de atanabilir. Fakat elimizde hem 1011, hem de 0011 gibi iki ekip varsa o zaman 0001 becerisi gerektiren hastanın 1011 ekibine mi yoksa 0011 ekibine mi atandığı önemlidir. 1011 ekibinin beceri sayısı daha fazla olduğundan kapsayacağı hasta sayısı 0011 ekibinden daha fazladır. O zaman hastanın önce 0011 ekibine atanmaya çalışılması, eğer atanamıyor ise 1011 ekibine atanması insan kaynaklarını etkin yönetmek açısından önemlidir. Yukarıda bahsedilen 1011 ekibinin 0011 ekibindeki tüm becerileri kapsamasından dolayı daha fazla hastaya atanabileceği basitçe görülebilirken bir birini tamamen kapsamayan durumlar için hesaplama yapmak gerekecektir. Şekil 4.10'da 5 hasta, 2 ekip için 16 bit üzerinden örnek bir hesaplama görülebilir.

		Hastaya uygulanabilecek işlemler																Desimal
İkilik sayı bitleri	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
Hasta1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	42246	
Hasta2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	39948	
Hasta3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	28697	
Hasta4	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	36678	
Hasta5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	32771	
	4	1	2	2	2	3	1	2	0	1	0	1	3	3	3	2		
Ekip1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	44709	
Ekip2	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	54270	
	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1		
İşlemlerin karşılanabilme oranları																		
Ekip/Hasta	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.3	1	0.5	M	1	M	1	0.3	0.6	0.3	0.5		
M: Çok büyük bir sayı																		

Şekil 4.10. Ekip becerilerinin hasta ihtiyaçlarını karşılama oranı

Şekil 4.10'da hiçbir hastanın ihtiyaç duymadığı 5. ve 7. Bitler için sayı/0 hatası olmaması için çok büyük bir değer olan M atanmıştır. Şekil 4.10'da ki ekip beceri hasta ihtiyacı karşılayabilme oranı aşağıdaki algoritma ile elde edilmiştir.

Procedure SkillOran()

```
//hastaskillmap, global bit dizisi, hasta ihtiyaç bitlerinin sayısını tutar
//ekipskillmap, global bit dizisi, ekip beceri bitlerinin sayısını tutar
//skillmaporan, global bit dizisi, skill bitlerinin oranıdır, ekipbitsayisi/hastabitsayisi
//skilldongu, global bir değişken
hastalistesi ← gün içinde ziyaret edilecek hastalar
foreach (hasta in hastalistesi) do
//işlemler için hasta tercih sayısını sayar, ihtiyaç sayısıdır
deger=1
skill=hasta.skill //hasta ihtiyaç bit dizisi
hastaskillsayisi=0
if(skill>1)
    hastaskillsayisi =Log(skill,2)//bit sayısını bulmak için
else
    hastaskillsayisi =1
if(hastaskillsayisi >skilldongu) skilldongu= hastaskillsayisi
for(i< hastaskillsayisi) do //her bitten kaç adet olduğunu sayar
    mask=skill&deger //skill ile değer bitsel and işlemleri yapıldı
    hastaskillmap[i]+=mask>>i //hasta ihtiyaç değerlerini toplar
    deger*=2
end for
end for
ekiplistesi ← gün içinde ziyaret gerçekleştirecek ekipler
foreach (ekip in ekiplistesi) do
//işlemler için personel kaynağını sayar, kaynak sayısıdır
deger=1
skill=ekip.skill //ekip beceri bit dizisi
ekipskillsayisi =Log(skill,2) //ekiplerin toplam beceri sayısı
for(i< ekipskillsayisi) do
    mask=skill&deger //aritmetik AND işlemleri
    ekipskillmap[i]+=mask>>i //Bitleri saymak için sağa kaydır, 1 biti al ekle
    deger*=2
end for
end for
for (i<skilldongu) do
    if(hastaskillmap[i]==0)
        skillmaporan[i]=M
    else
        skillmaporan[i]=ekipskillmap[i]/hastaskillmap[i]
    foreach (hasta in hastalistesi) do
        hasta.skillkıtlılık ← hasta.skill*skillmaporan
        hasta.skillkıtlılık.Sort()
    end foreach
end for
End Procedure
```

Algoritma ile her bir işlem için ekip kaynağının, hasta ihtiyaçlarını karşılayabilme oranını bulunmaktadır. Yukarıdaki algoritma periyot değerlerini göz ardı etmektedir. Her periyot için ayrı yarı beceri ve ihtiyaç hesabı yapılmamıştır. İstenilirse algoritma genişletilerek beceri kıtlığı her periyot için ayrı olarak hesaplanabilir. Algoritma bir kere çalıştırılmaktadır. Her atamadan sonra kalan hasta için tekrar hesap yapılmamıştır.

Ekiplerin becerilerinin hasta ihtiyaçlarını karşılayabilme oranına göre atama yapan algoritmada her bir hasta ihtiyaç duyduğu ekip kıtlığına göre sıralanmış ve

bu sıralamaya göre daha yüksek seçim şansı elde edecek şekilde seçilerek ilk atamalar gerçekleşmiştir. Şekil 4.11’de 5 hasta için çalışma görülmektedir.

		Hastaya uygulanabilecek işlemler															
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Hasta gereksinimleri	Hasta1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
	Hasta2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	Hasta3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
	Hasta4	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
	Hasta5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Ekip/Hasta, kıtlığı		0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.3	1	0.5	M	1	M	1	0.3	0.6	0.3	0.5
Hasta gereksinimleri ekip kıtlığı	Hasta1	0.5	M	0.5	M	M	0.3	M	0.5	M	M	M	M	M	0.6	0.3	M
	Hasta2	0.5	M	M	0.5	0.5	0.3	M	M	M	M	M	M	0.3	0.6	M	M
	Hasta3	M	1	0.5	0.5	M	M	M	M	M	M	M	1	0.3	M	M	0.5
	Hasta4	0.5	M	M	M	0.5	0.3	1	0.5	M	1	M	M	M	0.6	0.3	M
	Hasta5	0.5	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	0.3	0.5
Hasta atanma önceliği	Hasta4	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	1	1	M	M	M	M	M	M	M	M
	Hasta1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	Hasta2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	Hasta3	0.3	0.5	0.5	0.5	1	1	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	Hasta5	0.3	0.5	0.5	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

M: Çok büyük bir sayı

Şekil 4.11. Ekip kıtlığına göre sıralanmış hasta listesi

Şekil 4.11’de, hastaların her bir ihtiyacının ayrı ayrı ekip kıtlığı bulunmuştur. Daha sonra her hastanın ekip kıtlığı kendi içinde küçükten büyüğe sıralanmıştır. En kıt ekibe sahip hasta bulunurken çoklu kriterli sırlama yapılmıştır. Örneğin; her hasta için en kıt değer 0.3 tür, sonra 2. En kıt değerlere bakıldığında hasta1, hasta2 ve hasta4’ün ekip kıtlığının 0.3, hasta3 ve hasta5’in 0.5 olduğu görülür. Bu durumda hasta1, hasta2 ve hasta4 daha önceliklidir. Kendi içinde aynı öncelikli olan hastaların her bir ihtiyacı sırayla kontrol edilerek, sıralama tamamlanır.

Ekip kıtlığına göre öncelik vererek ilk atama yöntemini uygulayan algoritma, periyoda göre öncelikli atama yapan algoritmaya benzer bir yapıda yazılmıştır. Ekip kıtlığı daha yukarıda algoritması verilen skilloran yöntemi ile belirlenmişti. En uygun ekip atamasında, önce hastalar önceliklerine göre küçükten büyüğe sıralanmaktadır. Baştaki bireylerin atanma şansının daha yüksek olması gerektiğinden iki adet rastgele sayı üretilir. İlk sayı 0 ile hasta sayısı arasında, ikinci sayı ise hasta sayısı ile ilk sayı arasında olacaktır. Bu şekilde baştaki

bireylerin seçilme şansı artmış olacaktır. Seçim algoritmasının rastgele olması ile her üretilen kromozom farklı yapılarda oluşabilmektedir. Bu sayede popülasyon içinde kromozom çeşitliliği de sağlanmış olmaktadır. Aşağıda En uygun ekip atamasında kullanılan HastaAtamasıBestFitEkip algoritması görülmektedir.

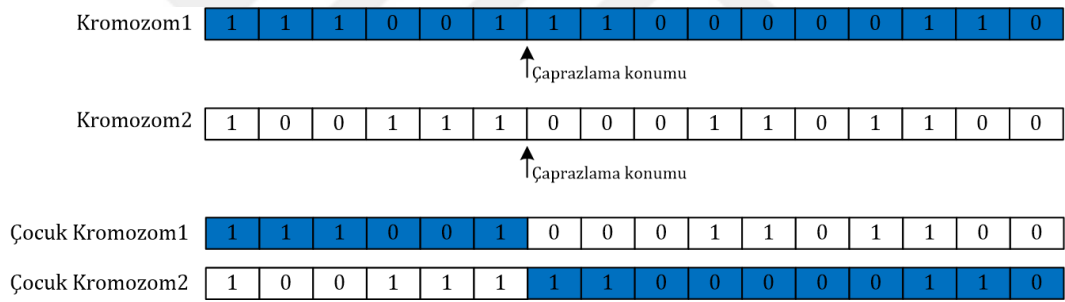
Procedure HastaAtamasıBestFitEkip()

```
hastalisteri ← gün içinde ziyaret edilecek hastalar
for i!= hastalisteri.count-1 do //hastaları ekip kıtlığına göre sırala
    for j!=i+1;hastalisteri.count do
        if(hastalisteri[i].ekipkıtlık > hastalisteri[j].ekipkıtlık)
            geçici=hastalisteri[i]
            hastalisteri[i]=hastalisteri[j]
            hastalisteri[j]=geçici
        end if
    while atanacakHastalisteri.count !=0 do
        rnd1=RandomSayı(0, atanacakHastalisteri.count)
        rnd=RandomSayı(0, rnd1+1) //baştaki hastaların şansını artırır
        hasta ← atanacakHastalisteri[rnd]
        rotalisteri ← gün içinde çalışacak ekip listesi
        atadim ← false
        while rotalisteri.count !=0 do
            rota ← RandomRotaSec(rotalisteri)
            atadim ← AtamaYap(ekip, hasta)
            if(atadim==true) break //hasta atandı döngüden çık
            rotalisteri.Remove(rota)
        end while //rotalisteri
        if(atadim==false)
            atanamayanHastaList.Add(hasta)
            return //herhangi bir rotaya yerleşemeyen hasta var
        end if
        hastalisteri.Remove(hasta) //rotayı siler
    end while //hastalisteri
end while
```

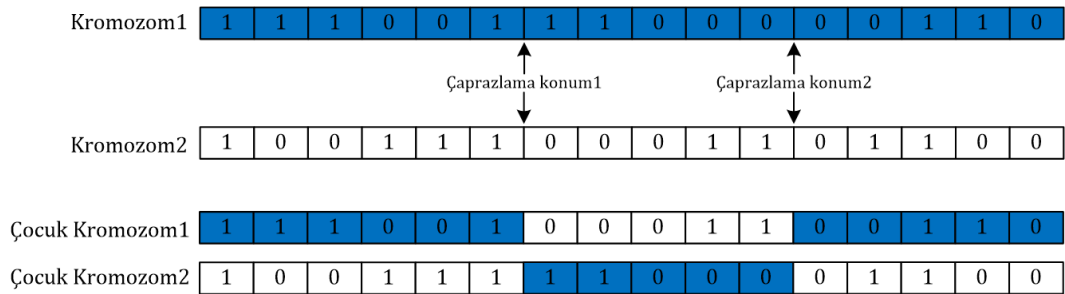
End Procedure

4.1.4. Çaprazlama

Çaprazlama, iki iyi atanın genlerinin birleştirilerek popülasyona yeni kromozomlar eklemektir (Poon ve Carter, 1995). Çaprazlama ile amaç, daha iyi bireyler üretmektir. Bu olasılığı artırmak için daha iyi bireyler belirli bir olasılıkla seçilerek çaprazlanabilir ya da çaprazlanan bireylerden daha iyi uygunluk değeri olanlar seçilebilir. Kromozom yapısının tek boyutlu dizi olarak tutulduğu durumlar için; tek noktali çaprazlama, iki noktali çaprazlama, çok noktali çaprazlama, uniform çaprazlama gibi değişik yöntemler vardır (Hasançebi ve Erbatur, 2000). Şekil 4.12’de tek noktadan çaprazlama, Şekil 4.13’te ise iki noktadan çaprazlama görülmektedir. Bu çaprazlama yöntemlerinde iki kromozom seçilen rastgele bir konumdan kopartılarak, diğer kromozom parçası ile birleştirilir. Bu şekilde iki yeni kromozom elde edilir. Elde edilen yeni kromozomlar üretildikleri her iki ataya ait özellikler taşımaktadır.



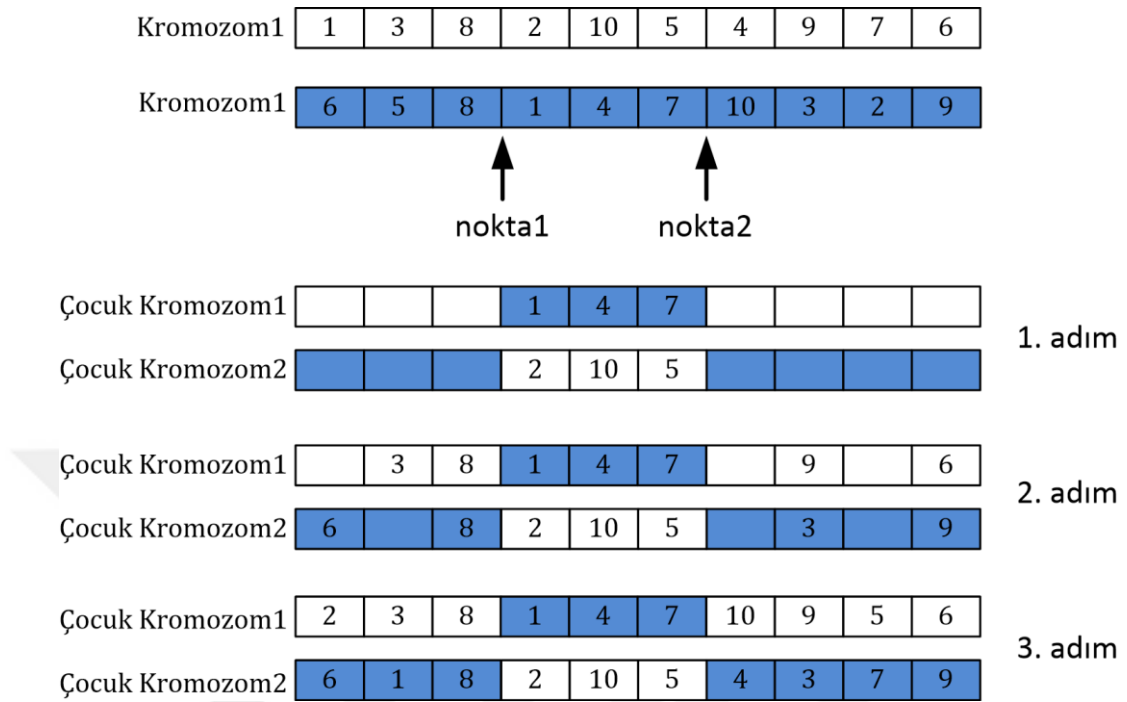
Şekil 4.12. Tek noktadan çaprazlama



Şekil 4.13. İki noktadan çaprazlama

Kromozom yapısı farklı olduğunda farklı çaprazlamamalar kullanılması gerekebilmektedir. Araç rotalama problemlerinde ve permütasyon kodlanmış

kromozom yapıları için kullanılan yöntemlerden birisi de PMX çaprazlamadır (Goldberg ve Lingle, 1985). Şekil 4.14’de PMX çaprazlama görülmektedir.



Şekil 4.14. PMX çaprazlama

Şekil 4.14’te görülen PMX çaprazlamada seçilen iki noktalar arasındaki genler Kromozom1’den Çocuk Kromozom2’ye, Kromozom2’den Çocuk Kromozom1’e kopyalanır. 1. adımda kopyalama işlemi görülmektedir. Daha sonra Çocuk Kromozom1’de olmayan genler, Kromozom1’deki konuma göre aktarılır. Bu aktarma işleminde Çocuk Kromozom1’de olan genlere rastlanırsa o genler atlanır. 2. adımda bu işlem görülmektedir. En son adımda da eksik genler sırasıyla Kromozom1’den tamamlanır. Aynı işlemler diğer Çocuk Kromozoma da uygulanarak çaprazlanmış iki adet yeni kromozom elde edilmiş olur. PMX çaprazlama genleri kopyalarken tekrarlı genlere izin vermediğinden eksik gende oluşmaz. Bu yüzden herhangi bir tamir işlemi gerektirmez.

Tez çalışmasında kromozom yapısı her satırı bir rotayı temsil eden ve her satırındaki genlerinde hastaları temsil ettiği bir yapıda tanımlanmıştı. Problemin tanımda ekip hata eşleşmesi olmasından dolayı çaprazlama işlemi karşılıklı rotalar üzerinden yapılmıştır. Çaprazlama yapılacak kromozomlar seçim

operatörü ile seçilir. Seçilen bu iki kromozomdan rastgele seçilen bir rota her iki kromozomda karşılıklı olarak yer değiştirilir.

$Kromozom_1 = \text{Çaprazlama için seçilen 1. kromozom}$

$Kromozom_2 = \text{Çaprazlama için seçilen 2. kromozom}$

$\text{ÇocukKromozom}_1 \leftarrow Kromozom_1$

$\text{ÇocukKromozom}_2 \leftarrow Kromozom_2$

$r = \text{Rastgele seçilen bir rota}$

$\text{ÇocukKromozom}_1.Rota_r \leftarrow Kromozom_2.Rota_r$

$\text{ÇocukKromozom}_2.Rota_r \leftarrow Kromozom_1.Rota_r$

Her iki kromozomda da aynı rota numarasına sahip ekipler aynı olduğundan rotaların karşılıklı yer değiştirmesi ile hasta ihtiyacı ile ekip beceri eşlemesi bozulmamış olacaktır. Yapılan yer değiştirme ile elde edilen iki yeni çocuk kromozomların her ikisinde de hem fazla genler hem de eksik genler bulunabilir. Bu fazlalıkların ve eksiliklerin düzeltilmesi için tamir işlemi uygulanır. Tamir işlemi önce fazla olan genleri belirler. Kromozoma yeni eklenen rota hariç diğer rotalar taranarak, fazla olan genler rotadan çıkarılır. Bu işlem hasta zaman penceresini ve ihtiyaç-beceri eşleşmesini bozmayacaktır. Daha sonra diğer kromozoma aktarıldığından eksik olan genler belirlenerek ilk atama yöntemine göre bu genler kromozoma tekrar yerleştirilmeye çalışılır. Tamir operatörü başarılı bir şekilde ekleme işlemini tamamlarsa yeni üretilen kromozom popülasyona dâhil edilir. Eğer işlem başarısız olursa, kromozom yok edilir. Kullanılan yöntemin çalışması Şekil 4.15'te görülebilir.

Kromozom1

ekip ₁	0	4	1	19	20	3	0	
ekip ₂	0	8	2	17	0			
ekip ₃	0	15	5	16	9	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	10	0		
ekip ₅	0	14	11	0				

←-----Rastgele seçilen rota----->

Kromozom2

ekip ₁	0	4	1	8	0			
ekip ₂	0	10	19	2	20	0		
ekip ₃	0	15	5	9	16	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	0			
ekip ₅	0	3	11	14	17	0		

Çaprazlama için seçilen kromozomlar

Çocuk Kromozom1

ekip ₁	0	4	1	19	20	3	0	
ekip ₂	0	10	19	2	20	0		
ekip ₃	0	15	5	16	9	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	10	0		
ekip ₅	0	14	11	0				

Çocuk Kromozom2

ekip ₁	0	4	1	8	0			
ekip ₂	0	8	2	17	0			
ekip ₃	0	15	5	9	16	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	0			
ekip ₅	0	3	11	14	17	0		

İşlem1: Karşılıklı olarak rotalar yer değiştirmiş

Çocuk Kromozom1

ekip ₁	0	4	1	~~19~~	~~20~~	3	0	
ekip ₂	0	10	19	2	20	0		
ekip ₃	0	15	5	16	9	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	~~10~~	0		
ekip ₅	0	14	11	0				

Çocuk Kromozom2

ekip ₁	0	4	1	~~8~~	0			
ekip ₂	0	8	2	17	0			
ekip ₃	0	15	5	9	16	7	18	0
ekip ₄	0	12	13	6	0			
ekip ₅	0	3	11	14	~~17~~	0		

Çocuk Kromozom1

ekip ₁	0	4	1	8	3	0			
ekip ₂	0	10	19	2	20	0			
ekip ₃	0	15	5	16	9	7	18	0	
ekip ₄	0	12	13	17	6	0			
ekip ₅	0	14	11	0					

Çocuk Kromozom2

ekip ₁	0	4	1	0					
ekip ₂	0	8	2	17	10	0			
ekip ₃	0	15	5	9	16	7	18	0	
ekip ₄	0	12	13	6	0				
ekip ₅	0	3	11	14	19	20	0		



Rotadan çıkarılması gereken gen



Rotaya yeni eklenen gen

Şekil 4.15. Kullanılan çaprazlama işlemi

Uygulanan çaprazlama yönteminin 2. adımında fazla olan genler diğer rotalarından çıkarıldığından ve 3. adım da eksik olan genler kromozomdaki herhangi bir rotaya eklenebileceğinden tamir operatörü aynı zamanda mutasyon operatörü gibi çalışmaktadır. Bu sebepten dolayı herhangi bir mutasyon işlemi uygulanmamıştır. Çaprazlanacak kromozomlar, rassal olarak ve iyi uygunluk değerine sahip olanların öncelikli olduğu iki ayrı yöntemle yapılabilmektedir. İki

yöntemde birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Her iki çaprazlama yönteminde de çaprazlamadan sonra yapılan tamir işlemi ile oluşturulan yeni kromozomların popülasyona eklenme kısımlarının algoritmaları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

```

Procedure bool TamirEt(kromozom, sabitRota)
    hastaListesi ← Atanması gereken hasta listesi
    atanmaSayisi ← hastaListesi.count boyutunda integer dizi
    foreach(rota in kromozom.rotalListesi) do
        foreach(gen in rota.ziyaretSirasi)
            atanmaSayisi[hastaListesi.IndexOf(gen.hasta)]++
    for i!=atanmaSayisi.count do
        if (atanmaSayisi[i]>1) fazlaAtama.add(hastaListesi[i].hastaID)
        if (atanmaSayisi[i]<1) eksikAtama.add(hastaListesi[i].hastaID)
    end for
    for i!= fazlaAtama.count do
        for j!= kromozom.rotalListesi.count do
            if(j=sabitRota) continue
            for k=1; k!= kromozom.rotalListesi.ziyaretSirasi.count-1 do
                hastaID= kromozom.rotalListesi[j].ziyaretSirasi[k].hasta.hastaID
                if(fazlaAtama[i]== hastaID)
                    kromozom.rotalListesi[j].ziyaretSirasi.removeAt()
            end for
        end for
    HastaAtamasıYap(eksikAtama)//Eksik genleri atamaya çalışır
    if (kromozom.atanamayanHastalar.count>0)
        return false
    return true
End Procedure

```

```

Procedure CaprazlaEkle(kromozom1, kromozom2)
    kopya1 ← KopyaÇıkar(kromozom1)
    kopya2 ← KopyaÇıkar(kromozom2)
    indis=RastgeleSayıUret(0,kopya1.rotalListesi.count)
    rota1=kopya1.rotalListesi[indis]
    rota2=kopya2.rotalListesi[indis]
    kopya1.rotalListesi.removeAt(indis)
    kopya2.rotalListesi.removeAt(indis)
    kopya1.rotalListesi.Insert(indis,rota2)
    kopya2.rotalListesi.Insert(indis,rota1)
    if(TamirEt(kopya1,indis)) kromozomListesi.add(kopya1)
    if(TamirEt(kopya2,indis)) kromozomListesi.add(kopya2)
End Procedure

```

4.1.4.1. Rassal çaprazlama

Bu yöntemde çaprazlanacak birey seçiminde uygunluk değeri dikkate alınmamıştır. Bireyler, rastgele olarak iki gruba ayrılmış ve karşılıklı olarak birbirleriyle çaprazlanmıştır. Çaprazlama oranı, iki gruba ayrılan bireylerin

eleman sayısını belirlemede kullanılmıştır. Yapılan işleme ait algoritma aşağıda verilmiştir:

```
Procedure Caprazla2Grup(caprazlamaorani)
    if(caprazlamaorani>100) caprazlamaorani=100
    kromozomListesi←Popülasyondaki kromozom sayısı
    for i!=kromozomListesi.count do
        listeGenel.add(i)
    dongusayisi=listeGenel.count*caprazlamaorani/200
    for i!=dongusayisi do
        indis=RastgeleSayıUret(0,listeGenel.count)
        liste1.add(listeGenel[indis])
        listeGenel.remove(indis)
        indis=RastgeleSayıUret(0,listeGenel.count)
        liste2.add(listeGenel[indis])
        listeGenel.remove(indis)
    end for
    for i!=dongusayisi do
        CaprazlaEkle(kromozomListesi[list1[i]], kromozomListesi[list2[i]])
    End Procedur
```

4.1.4.2. Uygunluk değerine göre çaprazlama

```
Procedure Caprazla2Grup_Olasilikli(caprazlamaorani)
    if(caprazlamaorani>100) caprazlamaorani=100
    kromozomListesi←Popülasyondaki kromozom sayısı
    for i!=kromozomListesi.count do
        listeGenel.add(i)
    FitnessHesapla()//popülasyondaki kromozomların fitnessını hesaplar
    for il=kromozomListesi.count-1 do
        for j=i+1;j!=kromozomListesi.count do
            if (kromozomListesi[i].fitness< kromozomListesi[j].fitness)
                gecici= kromozomListesi[i]
                kromozomListesi[i]= kromozomListesi[j]
                kromozomListesi[j]=gecici
            end if
        silmesayisi=(100-caprazlamaorani)*kromozomListesi.count/100
        for i!=silmesayisi do
            silinecekindis= RastgeleSayıUret(0,silmesayisi)
            silinecekindis= RastgeleSayıUret(0,silmesayisi+1)
            listeGenel.removeAt(silinecekindis)
        end for
        dongusayisi=listeGenel.count*caprazlamaorani/200
        for i!=dongusayisi do
            indis=RastgeleSayıUret(0,listeGenel.count)
            liste1.add(listeGenel[indis])
            listeGenel.remove(indis)
            indis=RastgeleSayıUret(0,listeGenel.count)
            liste2.add(listeGenel[indis])
            listeGenel.remove(indis)
        end for
        for i!=dongusayisi do
            CaprazlaEkle(kromozomListesi[list1[i]], kromozomListesi[list2[i]])
        End Procedure
```

Yukarıdaki algoritmada çaprazlama için seçilen kromozomlar, uygunluk değeri daha iyi olanların seçilme şansının daha yüksek olduğu bir yöntemle belirlenmiştir. Uygulanan sistemde kromozomlar önce uygunluk değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bu sıralama ile daha kötü olan kromozomlar, listenin başında yer alırken, daha iyi olanlar ise listenin sonunda yer almıştır. Daha sonra çaprazlama oranı kadar kromozom kalacak şekilde kromozomlar liste başındakilerin silinme olasılığı yüksek olacak şekilde silinmiştir. Silme işleminden sonraki kısımlar random atama ile aynı şekilde yazılmıştır.

4.1.5. Elitizm

GA'da yeni neslin daha iyi bireylerden oluşmasını sağlamak için eski nesilde uygunluk değeri kötü olan bireylerin popülasyondan çıkarılması işlemine elitizm denir (Simon vd., 2009; Pachauri ve Srivastava, 2013). Tez çalışması kapsamında kullanılan GA'da elitizm kullanılmıştır. Çaprazlama algoritması sonunda yeni bireylerle artan popülasyon sayısı elitizm uygulanarak tekrar başlangıç sayısına düşürülmüştür. Kullanılan yönteme ait algoritma aşağıda verilmiştir

```
Procedure ElitizmUygula(caprazlamaorani)
    kromozomListesi ← Popülasyondaki kromozom sayısı
    for i=kromozomListesi.count-1 do
        for j=i+1;j!=kromozomListesi.count do
            if (kromozomListesi[i].fitness < kromozomListesi[j].fitness)
                gecici = kromozomListesi[i]
                kromozomListesi[i] = kromozomListesi[j]
                kromozomListesi[j] = gecici
            end if
        while (kromozomListesi.count != kromozomSayisi) do
            kromozomListesi.removeAt(kromozomListesi.count) // en son kromozomu siler
    End Procedure
```

Elitizm için uygulanan algoritmada önce bütün kromozomlar, uygunluk değerlerine göre sıralanmış ve sonrada başlangıç kromozom sayısında ulaşınca kadar sondaki kromozomlar silinmiştir.

Tez çalışması kapsamında elitizm için farklı denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde sadece iyi bireylerin kalması yerine farklı olasılıklara göre uygunluk değeri kötü olan bireylerde sonraki nesillere aktarılmıştır. Yapılan bütün denemelerde bu şekilde oluşturulan elitizm ile elde edilen sonuçlar, yukarıdaki algoritma ile elde edilen sonuçlardan daha kötü olmuştur.

4.2. Açgözlü Yöntemle Problemin Çözümü

Greedy algoritmalar mevcut duruma göre sıradaki işlem için en uygun seçeneğe karar veren açgözlü bir yaklaşımdır (Zhang, 2006). Bu yaklaşım ile her zaman optimum sonuca ulaşmak mümkün olmasa da zaman karmaşıklığı açısından avantajlı olduğundan optimizasyon problemlerinde kullanılabilmektedir. Probleme göre özelleştirilmiş greedy yaklaşımlar araç rotalama ve lojistik problemlerinde de kullanılmaktadır (Liu vd., 2010; Chang vd., 2014; Nucamendi-Guillén vd., 2018). Tez çalışmasının bu kısmında evde sağlık bakımı rotalama problemi, hasta-çalışan eşleşmesi eklenmiş zaman pencereli kapasite kısıtlı araç rotalama problemi gibi modellenerek çözülmüştür. Evde sağlık bakımı rotalama probleminin kapasite kısıtlı araç rotalama problemi gibi nasıl modellenebileceği (Çolak vd., 2019) gösterilmiştir.

Geliştirilen greedy algoritmanın çalışmasında hasta ve sağlık çalışanı eşleşmesine dikkat edilmiştir. Ayrıca daha çok beceriye sahip olan sağlık çalışanına daha az beceriye ihtiyaç duyan hastaların atanmaması için, atamalar önce daha az beceriye sahip olan çalışanlardan başlanmıştır. Bu şekilde hastalar, öncelikle kendilerine bakım yapabilecek en uygun ekibe atanmakta ve ekip beceri kaynağı da etkili kullanılmaktadır. Bu işlem önce hastaların ihtiyaç duyduğu her bir beceri değeri sayılmıştır. Hastalar; 10010100, 00000111, 10101010, 10100011 gibi olsa hasta ihtiyaç sayılarını oluşturan dizi 3-0-2-1-1-2-3-2 şekilde oluşur buradaki değerler her bir ihtiyaçtan kaç tane olduğudur. Hastalar için yapılan işlemin aynısı ekipler içinde yapılır ve ekip beceri bolluğu bulunur. Daha sonra bu değerler aşağıdaki gibi her bir ihtiyaç-beceri biti için oranlanır:

$$\text{skilloran} = \text{ekip beceri digit toplam değeri} / \text{hasta ihtiyaç digit toplam değeri}$$

Eğer ekipte ilgili dijiti kullanılmamış ise ya da hastalardan hiç biri bu beceriye ihtiyaç duymuyorsa, listeye 1 değeri eklenir. Daha az beceri değeri olan ekiplerde daha çok 1 değeri olacağından bu ekiplerin beceri bolluğu hesaplandığında daha büyük bir sayısal değer elde edilir. Algoritma daha büyük değere sahip olan ekiplere atamayı daha önce yapacağından bu ekipler atamada önce seçilecektir. Aynı şekilde eğer ekibin sahip olduğu becerilere daha çok hasta ihtiyaç duyuyorsa o zaman o beceri değerinin oranı düşük olacağından ekip için sayısal değer düşük

çıkacaktır. Düşük değerli ekipler sona bırakılacağından diğer ekiplere atanamayan hastalar atanacaktır. Bu şekilde ekip kaynaklarının daha etkili kullanılması sağlanabilir. Aşağıda algoritma verilmiştir.



Procedure Ekip EkipSec()

```
hastalisteri ← gün içinde ziyaret edilecek hastalar
ekiplisteri ← gün içinde ziyaret gerçekleştirecek ekipler
M ← Büyük bir sayı
ebskill = 0 // ilk atama
foreach (hasta in hastalisteri) do
    if (hasta.skill > ebskill) ebskill = hasta.skill
dongusayisi = convertToInt(Log(ebskill, 2)) + 1
ekipskilldijit ← dongu sayisi boyutunda bit dizisi
hastaskilldijit ← dongu sayisi boyutunda bit dizisi
oranskilldijit ← dongu sayisi boyutunda double dizisi
foreach (hasta in hastalisteri) do
    deger = 1
    skill = hasta.skill
    for (i < dongusayisi) do
        mask = skill & deger
        hastaskilldijit[i] += mask >> i
        deger *= 2
    end for
end for
foreach (ekip in ekiplisteri) do
    deger = 1
    skill = ekip.skill // ekip beceri bitleri
    for (i < dongusayisi) do
        mask = skill & deger // aritmetik AND işlemi
        ekipskilldijit[i] += mask >> i // Bitleri sağa kaydır her seferinde 1 biti al
        deger *= 2
    end for
end for
foreach (ekip in ekiplisteri) do
    skill = ekip.skill
    kitlikList ← ekibin her skill değerinin kitlik durumunu tutan liste
    for (i < dongusayisi) do
        if (skill Mod 2 == 1) // aritmetik MOD işlemi
            if (hastaskilldijit[i] == 0)
                kitlikList.add(1.0/M)
            else if (ekipskilldijit[i]/hastaskilldijit[i] > 1)
                kitlikList.add(1.0/(hastaskilldijit[i]*M))
            else
                kitlikList.add(ekipskilldijit[i]/(hastaskilldijit[i]*M))
            else kitlikList.add(1.0/M)
            skill = skill/2
        end for
    kitlikList.Sort()
    kitlikdegeri ← başlangıç değeri 0 olan double bir değişken
    for (i < kitlikList.count) do
        kitlikdegeri *= 10
        kitlikdegeri += kitlikList[i]
    end for
    ekip.kitlikdegeri = kitlikdegeri
end for
indis = 0; enbuyukkitlikdeger = ekiplisteri[0]
for (i < ekiplisteri.count) do
    if (ekiplisteri[i].kitlikdegeri > enbuyukkitlikdeger)
        indis = i
        enbuyukkitlikdeger = ekiplisteri[i]
    end if
end for
return ekiplisteri[indis]
End Procedure
```

Procedure AtamalarıYap()

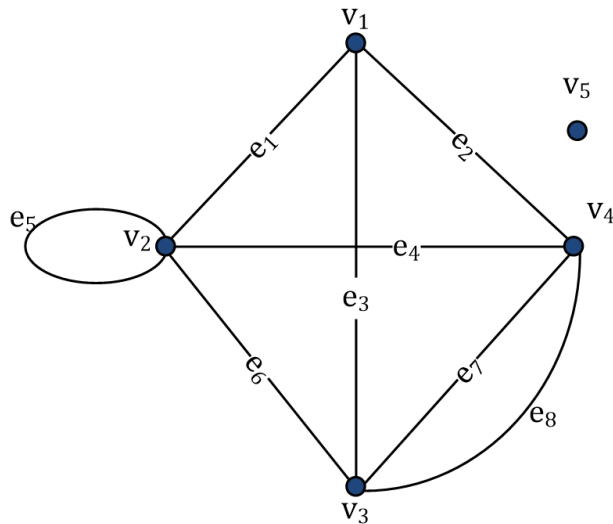
```
hastalListesi ← gün içinde ziyaret edilecek hastalar
ekiplListesi ← gün içinde ziyaret gerçekleştirecek ekipler
M ← Büyük bir sayı
saglikmerkezi = 0
while(ekiplListesi.count > 0 && hastalListesi > 1) do
    secilenekip = EkipSec()
    if(secilenekip == null) break
    myrota ← yeni bir rota başlat
    myrota.ekip = secilenekip
    period = secilenekip.sabahMesai.t1
    nokta = 0; ziyaretedilebilenvarmi = true
    eskihasta = hastalListesi[nokta]
    while(ziyaretedilebilenvarmi) do
        ziyaretedilebilenvarmi = false
        kararverilenhasta ← ilk değeri null olan hasta
        fark = M; t1 = 0; t2 = 0
        atamaicint1 = 0; atamaicint2 = 0
        for(i < hastalListesi.count) do
            yenhasta = hastalListesi[i]
            if(eskihasta == yenhasta) continue
            eskiyeniuzaklik ← UzaklikMatrisi(eskihasta.hastaId, yenhasta.hastaID)
            yenisagmeruzaklik ← UzaklikMatrisi(yenhasta.hastaId, saglikmerkezi)
            m1 = period + eskiyeniuzaklik + yenhasta.bakimsuresi
            m2 = m1 + enisagmeruzaklik
            if(period + eskiyeniuzaklik > yenhasta.timewindow.t1)
                t1 = period + eskiyeniuzaklik
            else
                t1 = yenhasta.timewindow.t1
            t2 = t1 + yenhasta.bakimsuresi
            mesaisarkmasiyok ← Mesaiarmkasivarmi(secilenekip, t1, t2)
            skilliyeterli = (secilenekip.skill & yenhasta.skill == yenhasta.skill)
            if(skilliyeterli && !mesaisarkmasiyok && m1 <= yenhasta.timewindow.t2
            && m2 <= secilenekip.ogleMesai.t2)
                ziyaretedilebilirvarmi = true
                yenifark = yenhasta.timewindow.t1 - (period + eskiyeniuzaklik)
                if(yenifark < fark)
                    fark = yenifark
                    kararverilenhasta = yenhasta
                    nokta = i
                    atamaicint1 = t1; atamaicint2 = t2
                end if
            end if
        end for
    if(ziyaretedilebilirvarmi)
        myrota.ArayaEkle(myrota.ziyaretsirasi.count-1,
            kararverilenhasta, atamaicint1, atamaicint2)
        period = atamaicint2
        eskihasta = kararverilenhasta
        hastalListesi.remove(kararverilenhasta)
    else // ekip için ziyaret edilebilecek yeni nokta yoksa
        rotalist.add(myrota)
        ekiplListesi.remove(secilenekip)
    end if
end while
end while
End Procedure
```

Yukarıda algoritması verilen atamaları yapan greedy yöntem seçilen ekibin sabah işe başlama periyodunu başlangıç periyodu kabul etmekte ve bulunduğu noktadan muhtemel ziyaret yapılabilecek olan noktaya yolculuk süresi, bakım süresi ve sağlık merkezinde ulaşma süresini ekleyerek ziyaret edilebilecek noktaları listelemektedir. Bu noktalar içinde ihtiyaç-beceri eşleşmesi uygun olan ve ekibin en az bekleyeceği noktayı ziyaret noktası olarak belirlemektedir. Ekibin zaman penceresi doluncaya kadar yukarıdaki adımlar tekrar edilmektedir. Ekibin zaman penceresi dolunca, yeni bir ekip seçilerek ilk ekip için seçilen işlemler yeni ekip içinde uygulanır. Atanacak hiçbir hasta kalmaz ise algoritma başarılı olarak sonuçlanır. Eğer listede atanacak hasta var iken seçilebilecek yeni ekip yok ise atamalar başarısız demektir.

4.2.1. Açgözlü yöntemin simüle edilmesi

Tez çalışması için geliştirilen greedy yöntemin çalışması çizge üzerinde gösterilerek simüle edilecektir.

V düğümleri oluşturan köşeler kümesi, E ise V düğümlerini birleştiren kenarlar kümesi olduğunda $G=(V,E)$ ikilisinden oluşan kümeye graf denir. Şekil 4.16'da düğümlerden ve kenarlardan oluşan örnek bir graf görülmektedir.



Şekil 4.16. Örnek bir çizge

Şekil 4.16'daki çizge için:

Köşe (düğüm) kümesi $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$

Kenar kümesi $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$

Çizge $G = (V, E)$ ikilisinden oluşmaktadır.

$e_1 = |v_1 - v_2|$, $e_2 = |v_1 - v_4|$, $e_3 = |v_1 - v_3|$, $e_4 = |v_2 - v_4|$, $e_5 = |v_2 - v_3|$,
 $e_6 = |v_2 - v_3|$, $e_7 = |v_3 - v_4|$, $e_8 = |v_3 - v_4|$ arasındaki bağıntıları gösterir.

Çizelge 4.2'de simülasyon için örnek hasta bilgileri görülmektedir. 0 nolu hasta sağlık merkezidir.

Çizelge 4.2. Simülasyonda kullanılan örnek hasta bilgileri

HastaID	Zç1	Zç2	Bakim	İhtiyaç	İhtiyaç bitleri
0	0	540	540	0	0000
1	362	490	46	6	0110
2	357	390	10	4	0100
3	60	442	60	12	1100
4	289	312	6	12	1100
5	468	500	10	12	1100
6	64	344	80	5	0101
7	15	480	10	11	1011
8	359	493	51	13	1101
9	212	334	104	15	1111
10	13	245	72	8	1000

Zç1, Zç2, bakım değerleri periyot cinsinden değerlerdir. İhtiyaç bitleri tam sayı olarak ihtiyaç değerlerinin ikilik karşılığıdır. Kolay anlaşılması için ihtiyaç değeri için 4 bit kullanılmıştır. Çizelge 4.3'te ise ekiplere ait bilgiler vardır

Çizelge 4.3. Simülasyonda kullanılan örnek ekip bilgileri

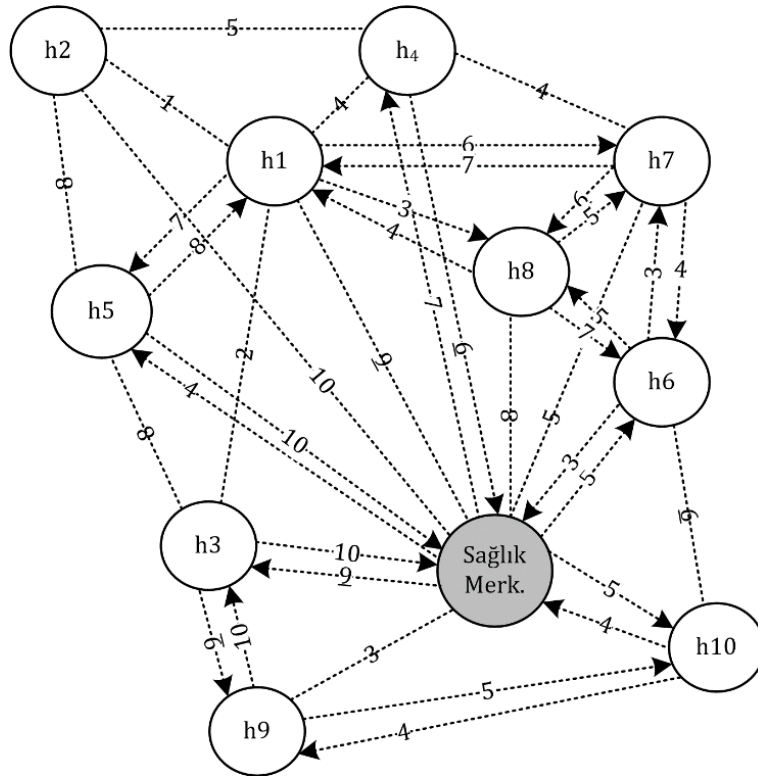
EkipID	SabahZç1	SabahZç2	ÖğleZç1	ÖğleZç2	Beceri	Beceri bitleri
1	0	400	400	400	14	1110
2	0	240	300	540	15	1111
3	0	240	300	540	13	1101

Çizelge 4.3'te 1. Ekip sadece sabah mesai yapmaktadır, 2. ve 3. Ekipler ise sabah ve öğle mesaiyi yapmaktadır. Uzaklık matrisi Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hasta adresleri arasındaki periyot cinsinden uzaklık matrisi

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	9	10	9	7	4	5	5	8	3	5
1	9	0	1	2	4	7	8	6	3	9	12
2	10	1	0	2	5	8	9	7	4	9	13
3	10	2	2	0	5	8	9	7	5	9	12
4	6	4	5	4	0	3	6	4	3	5	9
5	3	8	8	8	5	0	5	3	6	4	6
6	3	6	7	6	4	2	0	3	5	4	6
7	5	7	7	7	4	4	4	0	6	6	7
8	8	4	4	6	4	7	7	5	0	9	11
9	3	9	10	10	6	3	5	6	8	0	5
10	4	10	11	11	8	6	6	7	9	4	0

Çizelge 4.4’de verilen uzaklık matrisi gerçek coğrafi konum bilgisine göre Google.maps apisi ile elde edilmiş gerçek değerlerdir. Yol ve trafik durumundan dolayı uzaklık matrisi simetrik değildir. Şekil 4.17’de Çizelge 4.4’deki uzaklık matrisinin bazı kenarlarını kullanarak çizilmiş bir çizge görülebilir. Karmaşık görünmemesi için uzaklık matrisinde ki bütün değerler çizge üzerine işaretlenmemiştir.



Şekil 4.17. Ağgözlü yöntem simülasyonu için kullanılan yol çizgesi

Algoritmada önce ekip seçimi yapılmaktadır. Yukarıda yer alan EkipSec isimli algoritma çalıştırıldığında ilk olarak 1 nolu ekip seçilmektedir. Ekibin beceri değeri 1110, sabah mesai başlangıcı 0, sabah mesai bitişi ise 400 dür. Bu değerlere göre periyot=0, nokta=0 olarak algoritma çalışacaktır. Hastalar için hesaplanmış değerler Çizelge 4.5’de görülmektedir

Çizelge 4.5. Greedy simülasyon adım 1

HastaID	Zç1	Zç2	Bakim	İhtiyaç	Ziyarete Durumu	Fark
0	0	540	540	0000		
1	362	490	46	0110	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
2	357	390	10	0100	1	347
3	60	442	60	1100	1	51
4	289	312	6	1100	1	282
5	468	500	10	1100	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
6	64	344	80	0101	Beceri yetersiz	
7	15	480	10	1011	Beceri yetersiz	
8	359	493	51	1101	Beceri yetersiz	
9	212	334	104	1111	Beceri yetersiz	
10	13	245	72	1000	1	8

- *Ziyaret durumu 1 olan hastalar ziyaret edilebilecek hastalardır.*
- *Fark değeri ekibin ziyaret noktasında ne kadar bekleyeceğini gösterir. Fark değeri negatif ise hastanın Zç₁ değeri geçmiş demektir. Algoritma ziyaret edilebilecek olan hastalar içinde fark değeri en küçük olan hastayı rotaya ekleyecektir.*

Çizelge 4.5’teki değerlere göre ekibin sadece 2, 3, 4, 5, 10 ID li hastalara ziyaret yapılması mümkündür. Diğer hastalardan 1. hasta için hastanın ziyareti bitiş zamanı ekibin çalışma süresin aştığından uygun değildir. 6, 7, 8 ve 9. hastalar da ise ekip beceri değeri ile hasta ihtiyaç değerleri uyuşmamaktadır. Algoritma fark değeri en küçük olan hastaya gideceğinden sıradaki ziyaret noktası 10 nolu hasta olacaktır. Yeni noktaya göre periyot 85, nokta=10 olarak güncellenecektir. Algoritma bu yeni değerlere göre yeniden çalıştığında Çizelge 4.6’de görülen değerler elde edilir.

Çizelge 4.6. Greedy simülasyon adım 2

HastaID	Zç1	Zç2	Bakim	İhtiyaç	Ziyarete Durumu	Fark
0	0	540	540	0000		
1	362	490	46	0110	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
2	357	390	10	0100	1	261
3	60	442	60	1100	1	-36
4	289	312	6	1100	1	196
5	468	500	10	1100	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
6	64	344	80	0101	Beceri yetersiz	
7	15	480	10	1011	Beceri yetersiz	
8	359	493	51	1101	Beceri yetersiz	
9	212	334	104	1111	Beceri yetersiz	

Çizelge 4.6’da en küçük fark değeri -36 ile 3 nolu hastadır. Değerin negatif olmasının sebebi son periyot değeri 85, 10. nokta ile 3. nokta arasındaki uzaklık matrisi değeri 11 dir. Hastanın istediği Zç1, 60 olduğundan $60-(85+11)=-36$ değeri elde edilmiş olur. Bu durumda yeni ziyaret noktası 3 nolu hasta olacak ve yeni periyot değeri de 156 olacaktır. Yeni nokta ve periyot değerine göre algoritma tekrar çalıştığında Çizelge 4.7’de ki değerler elde edilecektir. Elde edilen yeni değerlere göre en küçük fark 128 ile 4 nolu hasta olduğundan 4 nolu hasta rotaya eklenecek, nokta değeri 4, periyot değeri ise 295 olarak güncellenecektir. Ekip bu atama için 128 dakika hasta adresinden beklemek zorunda kalacaktır.

Çizelge 4.7. Greedy simülasyon adım 3

HastaID	Zç1	Zç2	Bakim	İhtiyaç	Ziyarete Durumu	Fark
0	0	540	540	0000		
1	362	490	46	0110	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
2	357	390	10	0100	1	199
4	289	312	6	1100	1	128
5	468	500	10	1100	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
6	64	344	80	0101	Beceri yetersiz	
7	15	480	10	1011	Beceri yetersiz	
8	359	493	51	1101	Beceri yetersiz	
9	212	334	104	1111	Beceri yetersiz	

Nokta=4, periyot=295'e göre algoritma çalıştırıldığında elde edilen yeni sonuçlar Çizelge 4.8'de görülebilir

Çizelge 4.8. Greedy simülasyon adım 4

HastaID	Zç1	Zç2	Bakım	İhtiyaç	Ziyarete Durumu	Fark
0	0	540	540	0000		
1	362	490	46	0110	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
2	357	390	10	0100	1	57
5	468	500	10	1100	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
6	64	344	80	0101	Beceri yetersiz	
7	15	480	10	1011	Beceri yetersiz	
8	359	493	51	1101	Beceri yetersiz	
9	212	334	104	1111	Beceri yetersiz	

Çizelge 4.8'e göre seçilen yeni nokta, 2 nolu hasta olacak; nokta=2, periyot=367 olarak güncellenecektir. Periyot değeri 367 ye göre tüm hastalar tarandığında, nokta 2'den yeni bir hastaya gidip, tekrar sağlık merkezine dönüş işlemi için Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere uygun hasta kalmamıştır.

Çizelge 4.9. Greedy simülasyon adım 5

HastaID	Zç1	Zç2	Bakım	İhtiyaç	Ziyarete Durumu	Fark
0	0	540	540	0000		
1	362	490	46	0110	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
5	468	500	10	1100	Ziyaret ekip Zç2 den sonra bitiyor	
6	64	344	80	0101	Beceri yetersiz	
7	15	480	10	1011	Beceri yetersiz	
8	359	493	51	1101	Beceri yetersiz	
9	212	334	104	1111	Beceri yetersiz	

Algoritma aşağıdaki verilen noktada **else** durumu ile ifade edilen şekilde mevcut rotayı rota listesine ekleyecek ve ekibi ekip listesine silecektir. Elde edilen rota 0-10-3-4-2-0 olarak oluşmuştur.

```

if(ziyaretedilebilirvarmi)
    myrota.ArayaEkle(myrota.ziyaretsirasi.count-1,
                    kararverilenhasta, atamaicint1, atamaicint2)
    period=atamaicint2
    eskihasta=kararverilenhasta
    hastaListesi.remove(kararverilenhasta)
else // ekip için ziyaret edilebilecek yeni nokta yoksa
    rotalist.add(myrota)
    ekipListesi.remove(secilenekip)
end if

```

Algoritma, aşağıda verilen noktaya geleceğinden ekip listesinden yeni bir ekip seçerek çalışmasına devam edecektir.

```
while(ekipListesi.count>0 && hastaListesi>1) do  
    secilenekip=EkipSec()
```

Ekip listesinde ekip kalmadığında elde edilen rotalar ise aşağıdaki gibi oluşacaktır:

Ekip1 → 0[0:0] - 10[13:85] - 3[96:156] - 4[289:295] - 2[357:367] - 5[468:478] -
0[540:540]

Ekip3 → 0[0:0] - 6[64:144] - 8[359:410] - 0[540:540]

Ekip2 → 0[0:0] - 7[15:25] - 1[362:408] - 0[540:540]

Atamalarda [] içindeki değerler ziyaret başlangıç ve bitiş periyot değerini göstermektedir.

Yukarıdaki rotalar incelendiğinde 9 nolu hastanın herhangi bir rotaya atanmadığı görülmektedir. Bu hastanın ihtiyaç değeri 1111 olup becerisi eşleşen ekip ise 2 nolu ekiptir. Hastanın zaman penceresi ise 212-334, bakım süresi 104 periyottur. Hastaya ait bu zaman penceresi ve bakım süresi 2 nolu ekibe uygun değildir. Ekibin sabah zaman penceresi 0-240, öğle zaman penceresi ise 300-540 olduğunda hastanın istediği periyotlar ekibin öğle arasına denk gelmiştir. Bu sebeple hasta rotaya atanamamıştır. Mesai sarkması özelliği kapatılınca 9 nolu hastanın da atandığı rotalar aşağıdaki gibi oluşmuştur:

Ekip1 → 0[0:0] - 10[13:85] - 3[96:156] - 4[289:295] - 2[357:367] - 5[468:478] -
0[540:540]

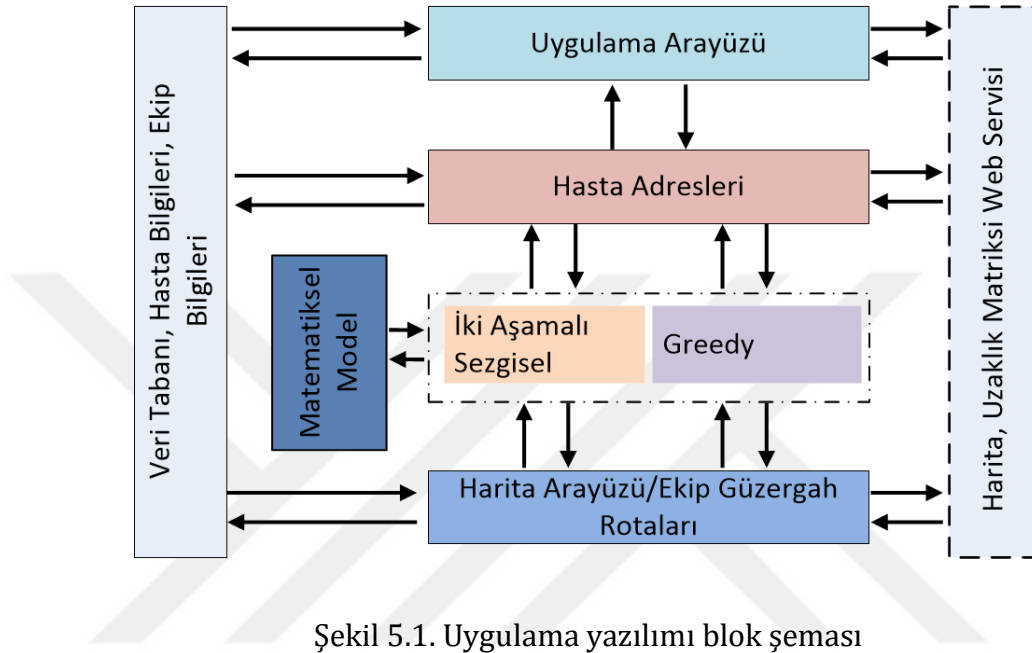
Ekip3 → 0[0:0] - 6[64:144] - 8[359:410] - 0[540:540]

Ekip2 → 0[0:0] - 7[15:25] - 9[212:316] - 1[362:408] - 0[540:540]

5. UYGULAMA YAZILIMI, ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

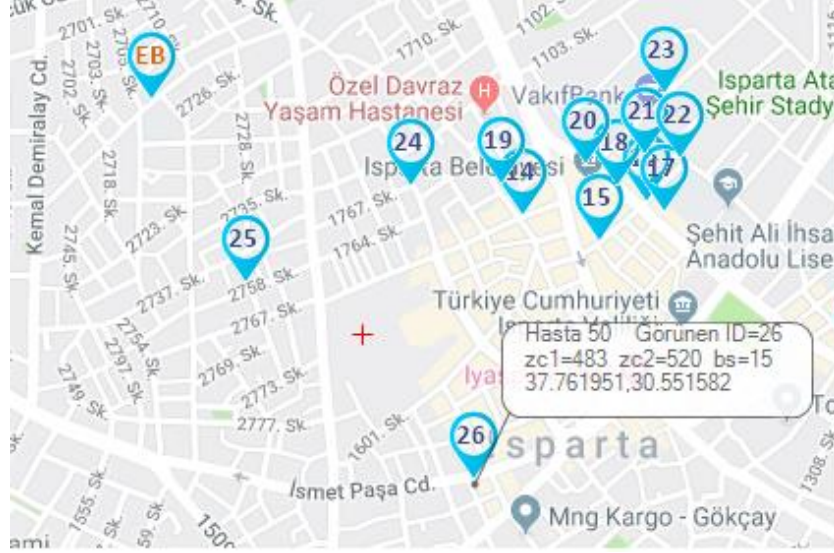
5.1. Uygulama Yazılımı

Uygulama yazılımına ait blok şeması Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Uygulama yazılımı blok şeması

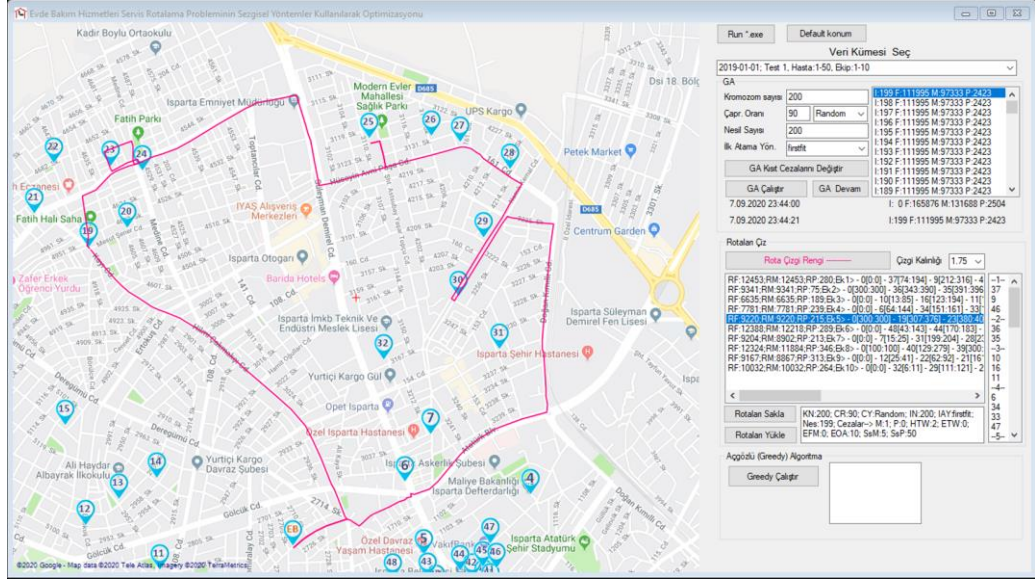
Uygulama yazılımı Visual Studio 2017 kullanılarak C# dili ile geliştirilmiştir. Harita ara yüzü için araç rotalama problemleri için literatürde daha öncede kullanılmış olan (Kirci, 2016; Yigit vd., 2018) açık kaynak lisanslı gmap.net nesnesi kullanılmıştır. Hasta adresleri hasta numaralarını gösteren birer marker ile gmap nesnesi üzerinde gösterilmektedir. Şekil 5.2’de marker ile hasta adreslerinin işaretlenmesi görülmektedir.



Şekil 5.2. Hasta adreslerinin marker ile işaretlenmesi

Marker içindeki numaralar atanması gereken hasta sayısına göre belirlenmiş tekrarsız bir numaradır, sağlık merkezi ise EB olarak adlandırılmıştır. Hastaları ifade eden marker ile hastanın veri tabanındaki ID si, hastanın istediği ziyaret başlangıç ve bitiş periyotları, ziyaret için gereken bakım süresi ve hastanın coğrafi konum bilgisi görülebilmektedir.

Hasta adresleri arasındaki uzaklık değerini bulmak için Google apileri kullanılmıştır. Algoritma ile elde edilen rotaların güzergâh bilgileri de yine Google apileri ile alınarak gmap nesnesi üzerinde görselleştirilmiştir. Noktalar arası uzaklık değerleri harita üzerindeki gerçek değerlerdir. Verilerin saklanması için SQL Server 2018 Developer sürümü kullanılmıştır. Geliştirilen uygulama yazılımı Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3. Uygulama yazılımı

5.1.1 Uygulama yazılımında GA'nın çalıştırılması

Uygulama yazılımının Şekil 5.4'de görünen kısmında GA'ya ait kromozom sayısı, çaprazlama oranı, çaprazlama için kullanılacak kromozom seçim yöntemi, nesil sayısı, ilk atama yöntemi değerleri belirlendikten sonra Run GA butonu ile GA'nın çalıştırılması sağlanabilir. GA çalışırken her neslin en iyi kromozomuna ait bilgiler yandaki listboxta listelenmektedir.

GA

Kromozom sayısı

200

Çapr. Oranı

90

Random

Nesil Sayısı

200

İlk Atama Yön.

firstfit

GA Kısıt Cezalarını Değiştir

GA Çalıştır

GA Devam

7.09.2020 23:44:00

7.09.2020 23:44:21

I:199 F:111995 M:97333 P:2423

I:198 F:111995 M:97333 P:2423

I:197 F:111995 M:97333 P:2423

I:196 F:111995 M:97333 P:2423

I:195 F:111995 M:97333 P:2423

I:194 F:111995 M:97333 P:2423

I:193 F:111995 M:97333 P:2423

I:192 F:111995 M:97333 P:2423

I:191 F:111995 M:97333 P:2423

I:190 F:111995 M:97333 P:2423

I:189 F:111995 M:97333 P:2423

I: 0 F:165876 M:131688 P:2504

I:199 F:111995 M:97333 P:2423

Şekil 5.4. Uygulama yazılımı GA parametreleri seçim ekranı

Şekil 5.4’de görülen listBox nesnesindeki değerler:

- I: Nesil sayısı
- F: İlgili nesil için çözüme en yakın kromozomun uygunluk değeri
- M: Rotaların metre cinsinden toplam mesafesi
- P: Rotaların periyot cinsinden toplam yolculuk süresi

GA’da uygunluk değerinin hesaplanmasında kullanılan ceza katsayıları ise, “GA Constraints Penalty Update” butonu ile belirlenebilmektedir. Sağlık merkezi, ceza katsayılarını istediği gibi değiştirebilir. Farklı ihlaller için farklı katsayılar kullanılmasıyla farklı atamalar ve rotalar elde edebilmektedir. Ceza katsayıları Şekil 5.5’te görülen ekrandan değiştirilebilir.

Ceza Değerleri	
Mesafe Cezaları	
Zaman Periyodu Cezası:	0
Yolculuk Mesafe Cezası:	1
Hasta Tercihleri Cezaları	
İstenmeyen Zaman Penceresi:	2
Uygun Olmayan Ekip Ataması	100000
Sağlık Ekibi Tercihleri Cezaları	
İstenmeyen Zaman Penceresi:	0
Fazla Çalışma:	0
Öğle Arası İhlali:	10
Sağlık Çalışanları İş Yükü Cezaları	
Dengesiz Yolculuk Mesafeleri:	5
Dengesiz Çalışma Zamanı:	50
Varsayılan Güncelle	

Şekil 5.5 Ceza katsayıları

Şekil 5.5'te cezalar mesafe cezaları, hasta tercihi ihlali cezaları, sağlık ekibi cezaları ve ekip mesafe dengesizliği cezaları olarak 4 gruba ayrılmıştır. Cezalara ait açıklamalar aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir. GA her çalıştığında yeni belirlenen ceza katsayılarına göre en uygun rotayı bulmak isteyecektir. Şekil 5.5'te görünen cezaların açıklamaları ve ne için kullanıldıkları aşağıda belirtilmiştir.

Zaman Periyodu Cezası: İki nokta arasındaki yolculuk için harcanan her periyot için ceza değeridir.

Yolculuk Mesafe Cezası: İki nokta arasındaki yolculuk için harcanan her metre için ceza değeridir.

İstenmeyen Zaman Penceresi: Hastalara yapılan ziyaretler için hasta zaman tercihi dışında yapılan ziyaretler için ceza değeridir. Bu değer hasta önceliği ile çarpılarak kullanılır.

İstenmeyen Zaman Penceresi: Ekiplerin sabah ve öğle mesaieleri zaman tercihi dışında hastalara yaptıkları ziyaretlerin ceza değeridir. Hem bakım zamanını hem de yolculuk süresini dikkate alır.

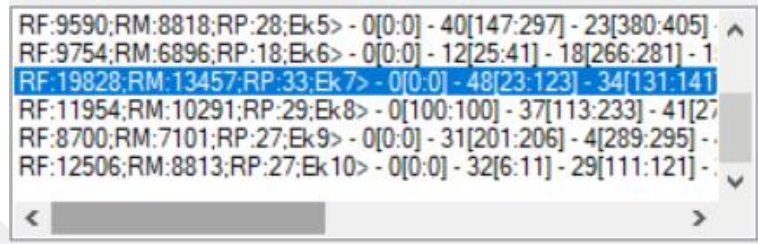
Fazla Çalışma: Ekiplerin günlük çalışma zamanının aşılması durumunda aşılan her bir periyot için kullanılan ceza değeridir.

Öğle Arası İhlali: Ekiplere öğle arası için ziyaret planlaması yapılmış ise her bir periyot için kullanılan ceza değeridir. Hem bakım zamanını hem de yolculuk süresini dikkate alır.

Dengesiz Yolculuk Mesafeleri: Ekipler için günlük yapılan mesafelerin standart sapmasını metre cinsinden alarak sapma değeri üzerinden uygulanan ceza değeridir.

Dengesiz Çalışma Zamanı: Ekipler için günlük yapılan mesafelerin standart sapmasını periyot cinsinden alarak sapma değeri üzerinden uygulanan ceza değeridir.

GA'nın çalıştırılması ile elde edilen rotalara ait güzergâhlar ise Şekil 5.6'daki gibi bir listboxta gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Uygulama yazılımı rotaların gösterilmesi

Şekil 5.6'da görülen listBox nesnesindeki değerler:

- RF: Rotanın uygunluk değeri
- RM: Rotanın metre cinsinden toplam yolculuk değeri
- RP: Rotanın periyot cinsinden toplam yolculuk zamanı, bu değere hasta bakım süreleri ve bekleme süreleri eklenmemiştir.
- EK: Rotaya atanan ekibin numarası

Rota üzerindeki ziyaret noktaları ve ziyaret periyotları ise aşağıdaki örnek rota üzerinden açıklanmıştır.

RF:7268;RM:7239;RP:29;Ek1>-0[0:0]-7[15:25]-6[64:144]-44[170:183]-9[212:316]-47[321:326]-46[327:347]-38[355:366]-0[400:400]

Yukarıdaki rotanın uygunluk değeri 7268, toplam yapılan yolculuk mesafesi 7239, toplam yolculuk süresi 29 periyot, rotaya atanan ekip ise 1 numaralı ekiptir. Rotaya ait ziyaret sırası ise 0-7-6-44-9-47-46-38-0 şeklinde oluşmuştur. Köşeli parantez içindeki değerler ilgili hastanın ziyaret başlangıç ve bitişi periyotlarıdır. Örnek olarak 7 numaralı hasta için ziyaret başlangıç periyodu 15, bitiş periyodu ise 25 tir.

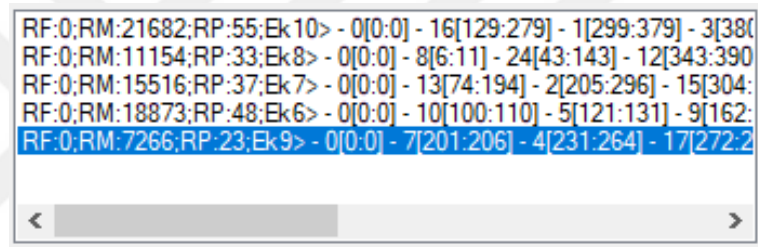
5.1.2. Uygulama yazılımında greedy algoritmanın çalıştırılması

Greedy algoritma ise Şekil 5.7’de görülen kısımdan çalıştırılmaktadır.



Şekil 5.7. Uygulama programında greedy algoritmanın çalıştırılması

Greedy algoritma çalıştırıldığında elde edilen rotalar ise GA içinde kullanılan listbox ta Şekil 5.8’deki gibi gösterilir.

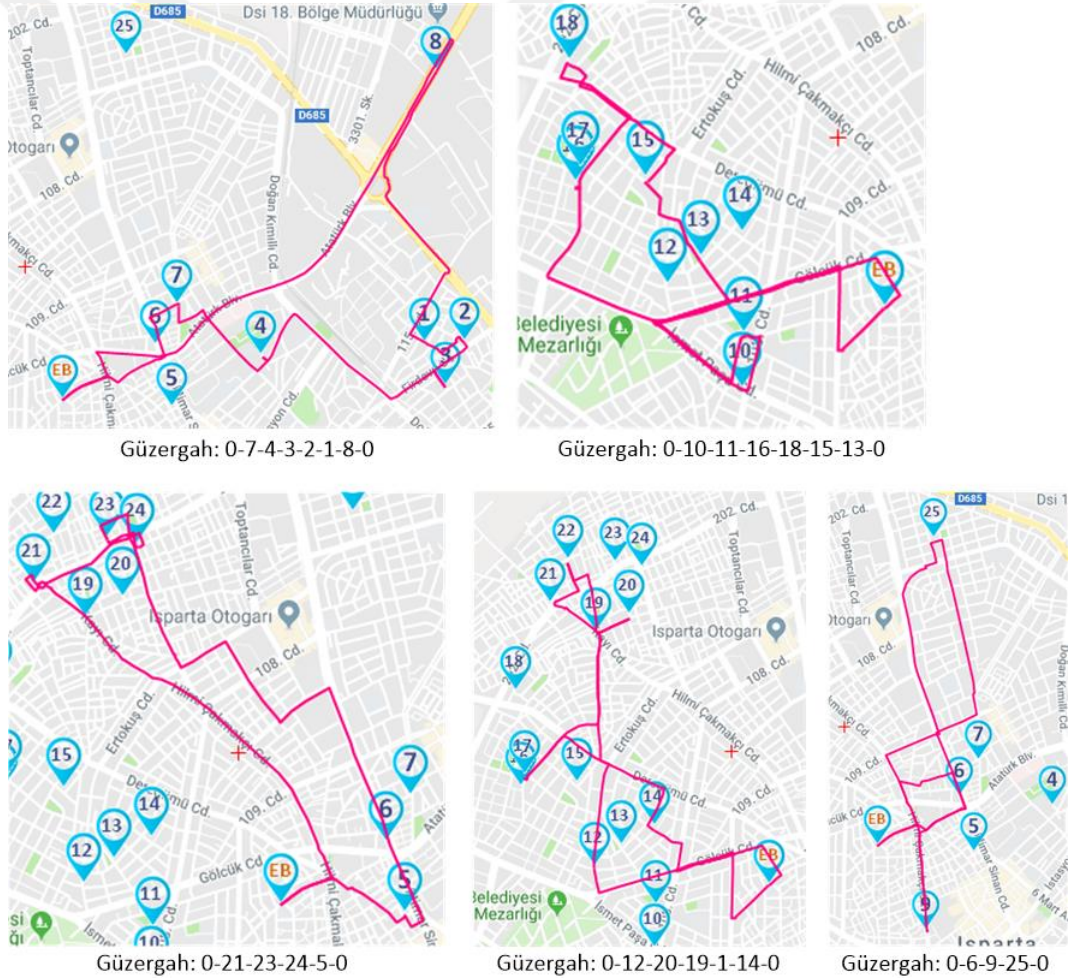


```

Procedure Routeciz(myrota)
  map ← Gmap.net nesnesi ile oluşturulan harita
  map.clear()
  MarkerlarıGoster()
  if(myrota.ziyaretSirasi.count ≤ 2) return
  route=null; routes=null
  for (i<myrota.ziyaretSirasi.count-1)
    start=myrota.ziyaretSirasi[i].cografikKonumu
    end= myrota.ziyaretSirasi[i+1].cografikKonumu
    route=GoogleGetRoute(start, end)
    gmaproute=Gmaproute(route)
    routes.add(gmaproute)
    map.add(routes)
  end for
End Procedure

```

Yukarıdaki algoritma ile çizdirilen bazı rotalar Şekil 5.9'da görülmektedir

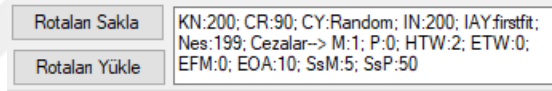


Şekil 5.9. Rotaların harita üzerinde gösterilmesi

Şekil 5.9’da görülen 5 güzergâh, toplam 25 hasta noktasının atandığı 5 ayrı rotayı göstermektedir.

5.1.4. Rotaların kaydedilmesi ve geri yüklenmesi

GA ile ya da Greedy yöntemle elde edilen rotalar istenilirse kayıt edilebilir. Kayıtlı olan rotalar, tekrar programa yüklenerek, harita üzerinde görselleştirilebilmektedir. Rotaların kaydedilebilmesi aynı veri kümesi için birden fazla deneme yapma imkânı vermektedir. Yapılan her deneme farklı sonuçlar vereceğinden bunların içinden istenilen sonuçlar seçilebilecektir. Rotaları kaydetmek ve geri yüklemek için Şekil 5.10’da görülen kısım kullanılmaktadır. Save Route butonu ile bütün rotalar güzergâh bilgileri ile birlikte kaydedilmektedir.



Şekil 5.10. Rotaların kaydedilmesi

Load Route butonu ile kayıtlı olan verilerden istenilen sonuç tekrar programa yüklenebilir. Şekil 5.11’de kayıtlı rotaların yüklenebileceği ekran görülmektedir.

Kaydedilen Rotalar									
Rotaların İlgili Planları									
Sonuç	GünID	Veri	Root Tarihi	Kayıt Tarihi	Açıklama	Rotalama Yöntemi	Fitness	mesafe	Periyot
328	19	Test 13, Hasta 1...	24.07.2020	28.08.2020 02:46	KN:500; CR:90; ...	GA	411038	346873	4640
327	19	Test 13, Hasta 1...	24.07.2020	28.08.2020 02:46	KN:500; CR:90; ...	GA	212377	171492	4266
326	19	Test 13, Hasta 1...	24.07.2020	28.08.2020 02:42	KN:500; CR:90; ...	GA	412186	330691	4579
325	19	Test 13, Hasta 1...	24.07.2020	28.08.2020 02:42	KN:500; CR:90; ...	GA	213225	175715	4279
324	19	Test 13, Hasta 1...	24.07.2020	28.08.2020 02:38	KN:500; CR:90; ...	GA	421281	349501	4637
323	19	Test 13, Hasta 1...	24.07.2020	28.08.2020 02:38	KN:500; CR:90; ...	GA	200291	164516	4252

Rotalar						
ID	Kromozom ID	Rota Sırası	Rotala Atanan Ekip	Rota Ceza	Rota Metre	Yolculuk Periyot
6751	380	0	1	23411	22811	438
6752	380	1	2	26914	26644	267
6753	380	2	3	27417	27417	217
6754	380	3	4	33869	33269	467
6755	380	4	5	8518	8518	222
6756	380	5	6	11258	11258	92
6757	380	6	7	29643	29043	526

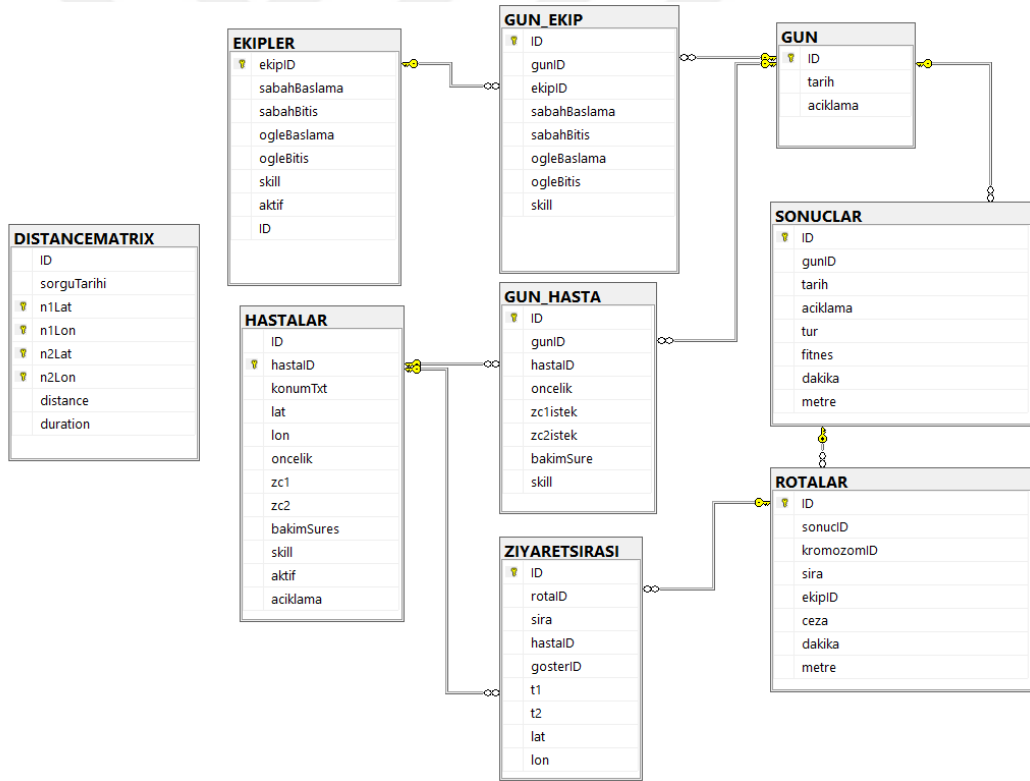
Rota Güzergâhları					
Ziyaret Sırası	Rotala Atanan Hasta	Haritada Görünen Numara	Ziyaret Başlama	Ziyaret Bitiş	Bakım Süresi
0	0	0	0	0	0
1	91	91	9	39	30
2	37	37	46	166	120
3	52	52	179	212	33
4	46	46	218	238	20
5	77	77	245	302	57
6	9	9	308	412	104
7	12	12	418	434	16

Şekil 5.11. Kayıtlı rotaların yüklenmesi

Şekil 5.11'deki ekranda en üstteki Routing Results isimli listede kaydedilen rotalama sonuçları vardır. Routs isimli listede ise rotaların ayrı ayrı listesi görülmektedir. En alttaki Routs Details isimli listede ise seçilen rotaya ait ziyaret bilgileri listelenmiştir. “All Routes Load” butonu ile Routs listesinde ki bütün rotalar programa geri yüklenebilmektedir. Daha sonra programdan bu rotalar harita üzerinde görselleştirilerek, ziyaret güzergâhları elde edilebilmektedir.

5.2. Veri Tabanı Yapısı

Uygulama sırasında verilerin saklanması için Microsoft SQL Server 2018 Developer sürümü kullanılmıştır. Şekil 5.12'de veri tabanı diyagramı görülmektedir.



Şekil 5.12. Kullanılan veri tabanı yapısı

Şekil 5.12'de yapısı görülen veri tabanındaki tabloların kullanım amaçları aşağıda belirtilmiştir:

DISTANCEMATRIX: Hasta adresleri arasındaki uzaklık matrisidir. Program içinden ziyaret edilecek olan hasta bilgisi seçildiğinde hastalara ait uzaklık matrisi bu tablodaki değerlere göre oluşturulur. İki nokta arasında uzaklık bilgisi gerektiğinde önce uzaklık matrisindeki değerler kontrol edilir. Eğer değer bulunamaz ise Google api ile değer alınır, matrise eklenir ve tabloya yazılır. Bu şekilde uzaklık değerlerini bulmak için her seferinde Google api kullanılmadığından hız kazanılmış olur.

EKIPLER: Sağlık merkezinde kayıtlı ekiplerin listesidir.

GUN_EKIP: Hangi gün hangi ekibin çalışacağını tutulduğu tablodur. Bu tabloda ekip tablosundaki bilgiler tekrar etmiştir. Bunun sebebi; ekibin her gün zaman penceresi ve toplam becerisi değişebilir.

HASTALAR: Sağlık merkezinde kayıtlı hasta bilgisidir.

GUN_HASTA: Hastalar her gün ziyaret edilmeyebilir. Bu tabloda hastaların ziyaret günleri saklanmaktadır. Hastaya uygulanacak tedavi, her gün değişebileceğinden dolayı bu tabloda hastaya ait ihtiyaç, zaman penceresi ve bakım süreleri ayrıca saklanmaktadır. Bu sayede hastaya farklı günlerde farklı zaman penceresi, ihtiyaç ve bakım süresi belirlenebilir.

GUN: Aynı gün için birden fazla ziyaret planlanabilmesi için eklenmiş tablodur. Aynı tarih, tabloya birden fazla eklenerek, aynı tarih için birden fazla ID elde edilir. Bu sayede farklı hasta gruplarına ve ekiplere aynı gün için birden fazla rota planlaması yapmak mümkündür.

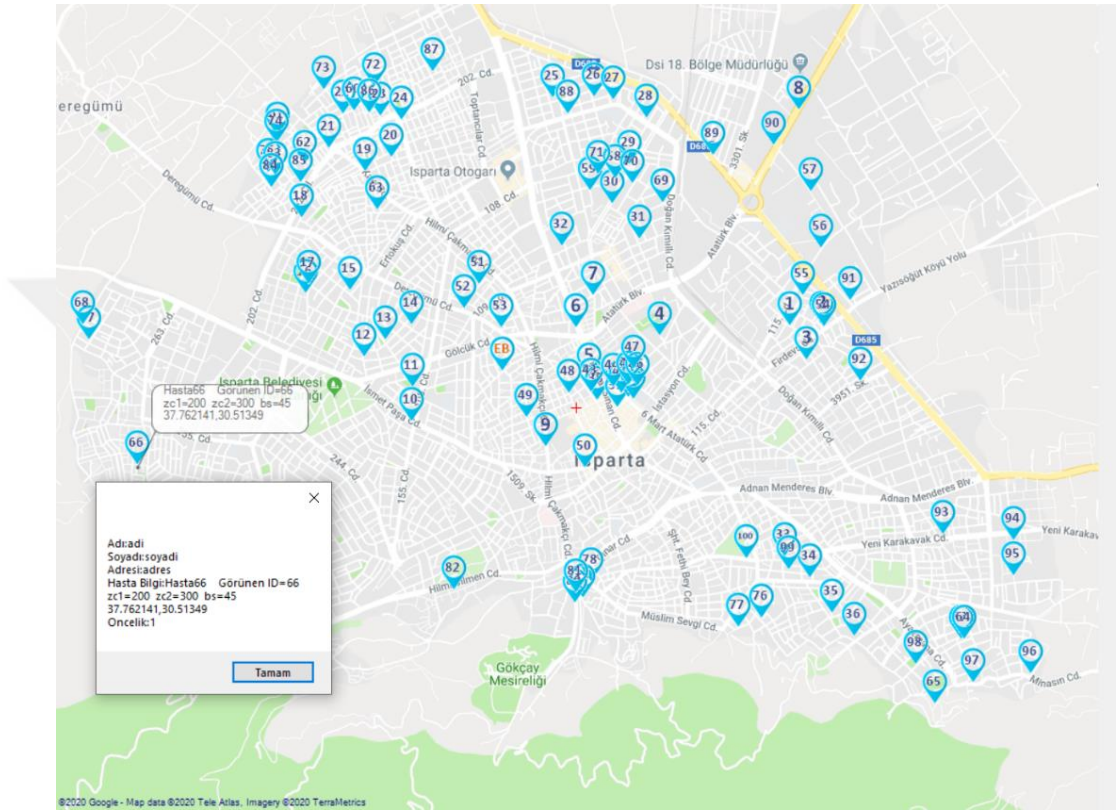
SONUCLAR: Planlama yapılmış rotaların saklanmasını sağlayan sonuçları tutar.

ROTALAR: Planlama yapılmış saklanan rotaların rota listesini tutar.

ZIYARETSIRASI: Her rotaya ait ziyaret sırasını saklayan tablodur. Kaydedilen rotalar için kullanılır.

5.3. Verilerin Üretilmesi

Geliştirilen program da denemeler yapılabilmesi için veriler gerçek coğrafi verisi içerecek şekilde rastgele üretilmiştir. Şekil 5.13'te rastgele üretilen adres verilerinin harita üzerinde yerleşimi görülmektedir.



Şekil 5.13. Rastgele üretilmiş hasta adres verileri

Çizelge 5.1'de denemelerde kullanılan hasta adreslerine ait konum bilgileri görülmektedir.

Çizelge 5.1. Denemelerde kullanılan hasta adreslerine ait konum bilgisi

Has. ID	Lat	Lng	Has. ID	Lat	Lng	Has. ID	Lat	Lng
0	37.786069	30.569835	34	37.754563	30.570772	68	37.771573	30.508860
1	37.771547	30.569043	35	37.752171	30.572671	69	37.779813	30.558217
2	37.771591	30.571758	36	37.750652	30.574482	70	37.781068	30.555603
3	37.769228	30.570472	37	37.750459	30.583626	71	37.781685	30.552719
4	37.770830	30.557997	38	37.766507	30.552638	72	37.787575	30.533673
5	37.768092	30.551932	39	37.766056	30.554317	73	37.787393	30.529413
6	37.771390	30.550870	40	37.766737	30.555335	74	37.783825	30.525375
7	37.773544	30.552317	41	37.766572	30.555705	75	37.781873	30.524616
8	37.768494	30.544544	42	37.767005	30.554691	76	37.751821	30.566610
9	37.763407	30.548238	43	37.767053	30.552150	77	37.751273	30.564628
10	37.765086	30.536801	44	37.767400	30.553997	78	37.754318	30.552142
11	37.767411	30.536970	45	37.767544	30.555279	79	37.753240	30.551407
12	37.769418	30.532783	46	37.767478	30.556056	80	37.752859	30.550715
13	37.770599	30.534645	47	37.768596	30.555742	81	37.753546	30.550865
14	37.771572	30.536816	48	37.767017	30.550201	82	37.753764	30.540410
15	37.773933	30.531613	49	37.765343	30.546592	83	37.781656	30.525259
16	37.773689	30.527795	50	37.761951	30.551582	84	37.780825	30.524925
17	37.774310	30.528072	51	37.774277	30.542556	85	37.781181	30.527382
18	37.778775	30.527472	52	37.772659	30.541285	86	37.785847	30.533254
19	37.781927	30.532921	53	37.771421	30.544522	87	37.788603	30.538670
20	37.782827	30.535123	54	37.771487	30.571976	88	37.785789	30.550147
21	37.783484	30.529843	55	37.773586	30.570109	89	37.783013	30.562544
22	37.785756	30.530980	56	37.776744	30.571694	90	37.783674	30.567619
23	37.785621	30.534199	57	37.780570	30.570819	91	37.773218	30.574196
24	37.785400	30.536001	58	37.781420	30.554180	92	37.767765	30.575072
25	37.786857	30.548844	59	37.780591	30.552077	93	37.757454	30.582062
26	37.786957	30.552362	60	37.785967	30.531912	94	37.757092	30.588050
27	37.786707	30.554010	61	37.784291	30.525416	95	37.754712	30.588056
28	37.785479	30.556861	62	37.782372	30.527757	96	37.748124	30.589547
29	37.782399	30.555340	63	37.779311	30.533954	97	37.747496	30.584653
30	37.779736	30.553941	64	37.750451	30.583845	98	37.748720	30.579797
31	37.777356	30.556254	65	37.746078	30.581393	99	37.755099	30.568926
32	37.776881	30.549663	66	37.762141	30.513490	100	37.755883	30.565325
33	37.755960	30.568564	67	37.770586	30.509415	101	37.757401	30.560614

0 ID li hasta sağlık merkezidir, sağlık merkezi haritada EB olarak işaretlenen noktadır. Has. ID, Hastaya verilen benzersiz bir numardır. Lat, Coğrafi konuma ait enlem bilgisi, Lng: Coğrafi konuma ait boylam bilgisidir.

Çizelge 5.1’de görülen konum bilgilerinin dışında testler için hastaların zaman penceresi, bakım süresi, ihtiyaç ve öncelik durumları her deney için rastgele üretilmiştir. Ekipler içinde yine zaman pencereleri ve beceri değerleri rastgele

üretmiştir. Bütün denemelerde ekipler ziyaretlerine 0. nokta olan EB merkezinden başlamakta ve bitirmektedir.

5.4. Deneyler ve Değerlendirme

Deney1:

GA'nın başlangıçta elde edilen olurlu bir çözümü geliştirip geliştiremediğini anlamak için listedeki 1-50 arasındaki hastalar için 10 ekiple atama yapılmaya çalışılmıştır. Hastalara ait bilgiler Çizelge 5.2'de, ekiplere ait bilgiler ise Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney1 için kullanılan hasta bilgileri

ID	Ön	Zc ₁	Zc ₂	Bk	Sk	ID	Ön	Zc ₁	Zc ₂	Bk	Sk
0	0	0	540	540	0	26	1	119	407	91	7
1	1	362	490	46	6	27	0	331	432	13	2
2	0	357	390	10	3	28	0.2	231	266	33	12
3	0.6	60	442	60	12	29	0.7	111	309	10	12
4	0.6	289	312	6	12	30	0.4	400	534	15	1
5	0.3	468	500	10	12	31	0.4	201	254	5	15
6	0.9	64	344	80	5	32	0	5	105	5	9
7	0.7	15	480	10	11	33	0.7	162	314	120	15
8	0.2	359	493	51	13	34	0.6	100	199	10	7
9	1	212	334	104	15	35	0	374	413	5	2
10	0.6	13	245	72	8	36	0.7	343	417	47	10
11	0.5	144	239	30	1	37	0.9	74	366	120	5
12	0.9	25	270	16	15	38	0	355	424	11	6
13	0.1	398	437	32	1	39	0.8	198	401	80	4
14	0.8	487	530	40	7	40	1	129	333	150	3
15	0.8	257	410	46	11	41	0	272	280	5	4
16	0	123	273	71	9	42	0	412	510	40	1
17	0.5	357	438	53	14	43	0.3	405	461	23	12
18	1	266	300	15	11	44	0.5	170	368	13	13
19	0.7	241	383	69	2	45	0	380	423	10	15
20	0.9	127	469	100	14	46	0.3	305	392	20	13
21	0.5	161	487	90	3	47	0.3	200	332	5	4
22	0	62	147	30	12	48	0	43	367	100	11
23	0.6	380	424	25	7	49	0.3	507	519	10	9
24	0.8	384	469	38	7	50	0	483	520	15	1
25	1	299	508	80	1						

ID: Hata numarası, Ön: Hasta Önceliği, Zc₁-Zc₂: Hasta zaman tercihleri, Bk: Hasta bakım süresi, Sk: Hasta ihtiyacı (skill)

Çizelge 5.3. Deney1 için kullanılan ekip bilgileri

ID	St1	St2	Öt1	Öt2	Sk
1	0	400	400	400	15
2	240	240	300	540	10
3	0	240	240	240	9
4	0	300	300	300	15
5	300	540	540	540	7
6	0	240	300	540	15
7	0	240	300	540	15
8	100	240	300	540	7
9	0	240	300	540	15
10	0	240	300	540	15

ID: Ekip numarası, St₁-St₂: Ekibin sabah mesai zaman penceresi, Öt₁-Öt₂: Ekibin Öğle mesai zaman penceresi, Sk: Ekibin toplam becerisi (skill)

Eğer ekibin sabah mesaisi yoksa 2'ID li ekipteki gibi sabah başlama ve bitiş değerlerine aynı periyotlar girilmelidir. Aynı şekilde eğer ekibin öğleden sonra mesaisi yoksa o zamanda 4. ID'deki gibi öğleden sonraki periyotlara aynı değerler girilmelidir. Sabah bitiş ile öğle başlama arasında kalan süreler ekibin öğle arası süresidir. Ekiplerin sabah başlama ve öğle bitiş sürelerine mutlak uyulmakta, fakat öğle arasına ziyaretler kayabilmektedir.

Çizelge 5.2'de ki hasta verileri ve Çizelge 5.3'teki ekiplere ait verilere göre GA aynı ceza katsayıları ile çalıştırıldığında Çizelge 5.4'teki sonuçlar alınmıştır.

Çizelge 5.4. Deney1'deki verilerle yapılan testlerin sonuçları

Test	KS	ÇO	ÇM	NS	İAY	ÇS	En iyi		En kötü	
							BNF	SNF	BNF	SNF
1	50	90	rnd	200	first	5	163588	110885	158278	122857
2	100	90	rnd	200	first	12	159396	107974	160064	111190
3	200	90	rnd	200	first	21	161340	100164	163896	104954
4	400	90	rnd	200	first	32	152981	98477	157375	103563
5	800	90	rnd	200	first	49	156504	98275	153359	99614
6	600	90	rnd	200	first	41	165123	97547	160275	100878
7	500	90	rnd	200	first	39	153666	94796	158964	103887
8	500	95	rnd	200	first	39	157749	96756	156368	101915
9	500	80	rnd	200	first	37	159547	100179	151091	102549
10	550	90	rnd	200	first	40	155314	97288	157893	979925
11	500	90	gf	200	first	45	156431	98012	151091	103339
12	500	90	rnd	200	team	38	159377	97400	157288	100173
13	500	90	rnd	200	periyot	34	157545	98565	156737	103093

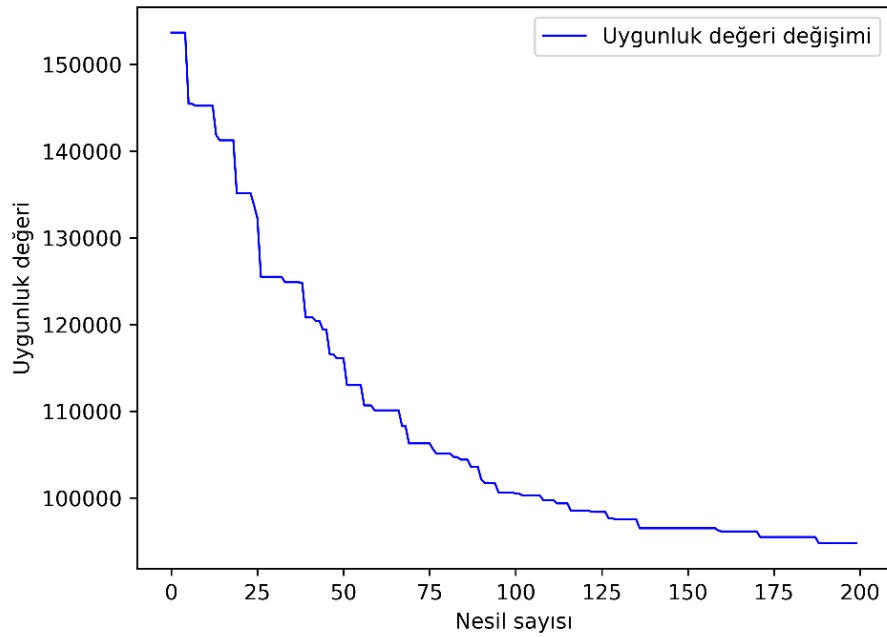
KS: GA'da kullanılan kromozom sayısı,

ÇO: Çaprazlama oranı,

ÇM: Çaprazlama metodu, rnd: rastgele çaprazlama, gf: daha iyi bireylerin seçim şansının yüksek olduğu çaprazlama,

İAY: İlk atama yöntemi, first: İlk bulunan uygun yere atama, team: Ekiplerin becerilerine göre en etkili atama, periyot: En uygun periyoda göre atama, ÇS: Saniye cinsinden ortalama çalışma süresi, BNF: İlk nesildeki en iyi bireyin uygunluk değeri, SNF: Son nesildeki en iyi bireyin uygunluk değeridir.

Çizelge 5.4'te görüldüğü üzere GA farklı parametrelere göre farklı sonuçlar verse de bütün testlerde uygunluk değerlerinin iyiye doğru gittiği ve çözümü geliştirdiği görülmektedir. Rotaların tamamlanması için gereken metre cinsinden mesafe değerinin bir kısıt olarak uygunluk fonksiyonuna eklenmesinden dolayı uygunluk değerini sıfır olması mümkün değildir. Deney1 verisi için elde edilen en iyi sonuç olan 7 nolu testte GA'nın uygunluk değeri değişimini gösteren grafik Şekil 5.14'te görülebilir.



Şekil 5.14. Deney1 GA uygunluk değeri değişimi

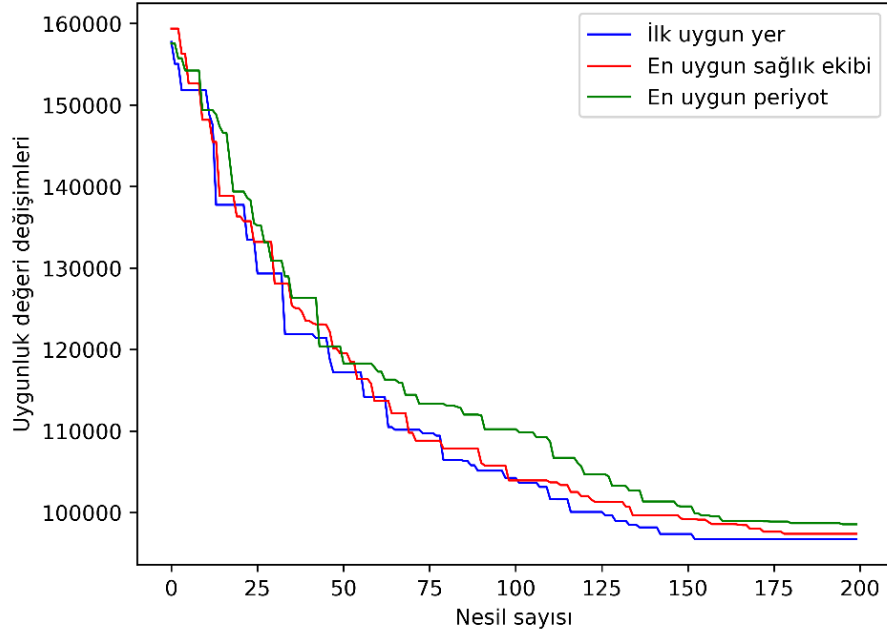
GA karakteristik olarak ilk nesillerde çözüme daha hızlı yaklaşmakta, daha sonraki nesillerde ise çözüme yaklaşma hızı azalmaktadır. Şekil 5.14'teki grafikte de 100. nesile kadar çözüme hızlı yaklaşılmış, 100 nesilden sonra ise hızlı ilerleyen gelişim yavaşlayarak devam etmiştir. 200. Nesilden sonra ise çok az iyileşme olduğundan bu deney verisi için nesil sayısı 200 ile sınırlandırılmıştır. Deney1 verileri için yapılan test7 ile elde edilen rotalar yolculuk mesafesi ile birlikte Çizelge 5.5'te verilmiştir. Rotaların harita üzerinde çizdirilmesi ise Ekler kısmında EK A ROTALAR bölümünde verilmiştir. Çizelge 5.5'deki uygunluk ve metre değerleri ilgili rotanın değeridir. Yolculukta yapılan her bir metre ceza

olarak modele eklendiğinden uygunluk ve metre değeri eşit olan rotalar hasta ve ekip açısından hiçbir ihlalin olmadığı rotalardır.

Çizelge 5.5. Deney1 GA ile elde edilen rotalar

Ekip	Uygunluk	Metre	Güzergâh
Ekip1	10719	10719	0[0:0] - 37[74:194] - 9[212:316] - 0[400:400]
Ekip2	9341	9341	0[300:300] - 36[343:390] - 35[391:396] - 0[540:540]
Ekip3	6635	6635	0[0:0] - 10[13:85] - 16[123:194] - 11[198:228] - 0[240:240]
Ekip4	6470	6470	0[0:0] - 7[15:25] - 6[129:209] - 31[214:219] - 41[272:277] - 44[278:291] - 0[300:300]
Ekip5	6231	6231	0[300:300] - 47[307:312] - 39[314:394] - 38[396:407] - 42[412:452] - 50[483:498] - 0[540:540]
Ekip6	9490	9490	0[0:0] - 32[6:11] - 29[109:119] - 26[122:213] - 28[231:264] - 27[331:344] - 25[345:425] - 30[428:443] - 49[507:517] - 0[540:540]
Ekip7	1010	9840	0[0:0] - 12[25:41] - 22[62:92] - 20[127:227] - 18[266:281] - 15[300:346] - 17[357:410] - 13[413:445] - 14[487:527] - 0[540:540]
Ekip8	7714	7594	0[100:100] - 21[161:251] - 19[300:369] - 23[380:405] - 24[407:445] - 0[540:540]
Ekip9	6020	8540	0[0:0] - 48[23:123] - 34[131:141] - 33[162:282] - 46[305:325] - 45[380:390] - 43[438:461] - 5[468:478] - 0[540:540]
Ekip10	10761	10231	0[0:0] - 40[129:279] - 4[289:295] - 3[300:360] - 2[362:372] - 1[373:419] - 8[422:473] - 0[540:540]

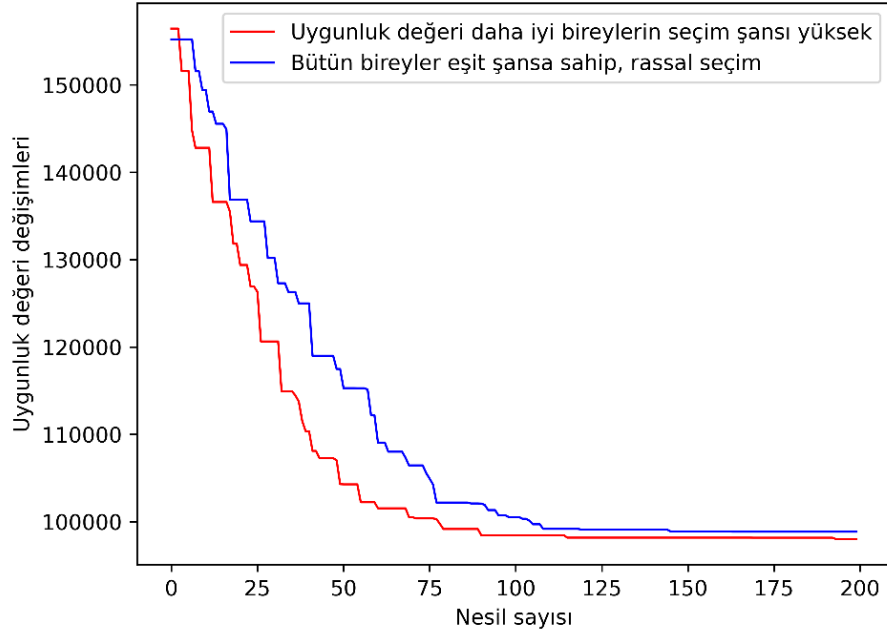
GA’da farklı ilk atama yönteminin çözüme olan etkisini anlamak için 8, 12 ve 13. testler aynı parametrelerle ilk atama yöntemleri değiştirilerek birçok defa tekrar edilmiştir. Yapılan bu testlere ait uygunluk değeri değişimi Şekil 5.15’te görülebilir.



Şekil 5.15. Farklı ilk atama yöntemlerine göre uygunluk değerinin değişimi

İlk atama yöntemi farklı olan fakat yakın sonuçlar veren testlerin uygunluk değeri değişimi tek bir grafik üzerinde incelendiğinde Deney 1 için ilk atama yöntemleri arasında anlamlı farkların olmadığı görülebilir.

GA'nın diğer önemli bir operatörü olan çaprazlamada kullanılan bireylerin seçim yönteminin çözüme etkisini anlamak için çaprazlanacak bireylerim random ve olasılıklı seçildiği testler tekrar edilmiştir. Test 11'deki GA parametreleri kullanılarak çaprazlanacak birey seçimin random yapıldığı testler, test 11'deki değerlere yakın sonuçlar elde edilinceye kadar tekrar edilmiştir. Bu testlerde amaç, yaklaşık aynı sonucu veren GA'da çaprazlama yönteminin uygunluk değeri değişimine olan etkisini gözlemlemektir. Elde edilen sonuçlara ait grafik Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Çaprazlamada kullanılan birey seçim şansının sonuca etkisi

Şekil 5.16’da başlangıç uygunluk değerleri yaklaşık aynı olan, daha iyi bireylerin seçim şansının daha yüksek olduğu çaprazlama yöntemi ve çaprazlama şansı her bireyin eşit olan random çaprazlama yöntemi karşılaştırılmıştır. Daha iyi bireylerin yeni nesilleri oluşturma olasılığının yüksek olan çaprazlama yöntemi başlangıçta iyi sonuçlar verse de ilerleyen nesillerde durum değişmekte ve random çaprazlama yöntemi birçok testte az da olsa daha iyi sonuçlar vermiştir.

Greedy algoritma ile GA’nın çözüme etkisini karşılaştırmak için Deney1’de verilen veriler Greedy algoritma ile çözüldüğünde 1sn’den kısa sürede rotalar oluşturulmuştur. Fakat 4, 9, 13, 15, 28, 33, 39, 40, 41, 45 nolu hastaların herhangi bir rotaya atanamadığı görülmüştür.

Deney2:

GA ve Greedy algoritmanın daha büyük veri setlerindeki davranışlarını karşılaştırmak için listedeki 1-100 arasındaki hastalar için 20 ekiple atama yapılmaya çalışılmıştır. Hastalara ait bilgiler Çizelge 5.6’da, ekiplere ait bilgiler ise Çizelge 5.7’de verilmiştir. İhtiyaç-beceri eşleşmesini dikkate almadan atama yapmak için bütün ekiplerin beceri durumu tüm ihtiyaçları kapsayacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 5.6. Deney2 için kullanılan hasta bilgileri

ID	Ön	Zc1	Zc2	Bk	Sk	ID	Ön	Zc1	Zc2	Bk	Sk	ID	Ön	Zc1	Zc2	Bk	Sk
0	0	0	540	0	0	34	0.6	100	199	10	7	68	0.7	300	400	43	0
1	1	362	490	46	6	35	0	374	413	5	2	69	0.9	60	150	40	12
2	0	357	390	10	3	36	0.7	343	417	47	10	70	0	50	350	11	6
3	0.6	60	442	60	12	37	0.9	74	366	60	5	71	0	6	200	24	13
4	0.6	200	312	6	12	38	0	355	424	11	6	72	0.2	0	540	52	12
5	0.3	468	500	10	12	39	0.8	198	401	80	4	73	0.9	320	370	16	13
6	0.9	64	344	20	5	40	1	100	300	120	3	74	0.7	20	90	44	9
7	0.7	15	480	10	11	41	0	272	280	5	4	75	0.7	252	400	57	9
8	0.2	359	493	51	13	42	0	412	510	40	0	76	0.7	412	500	51	14
9	1	212	334	15	15	43	0.3	405	461	23	12	77	0.8	432	527	50	14
10	0.6	13	245	30	8	44	0.5	170	368	13	13	78	0.2	41	400	20	7
11	0.5	144	239	30	0	45	0	380	423	10	15	79	0.4	256	350	10	10
12	0.9	25	270	16	15	46	0.3	305	392	20	13	80	0.6	300	430	15	6
13	0.1	398	437	32	1	47	0.3	200	332	5	4	81	0.9	300	370	26	3
14	0.8	487	530	40	7	48	0	80	367	50	11	82	0.4	155	250	18	7
15	0.8	257	410	25	11	49	0.3	507	519	10	9	83	0.5	364	385	18	8
16	0	123	273	30	9	50	0	483	520	15	0	84	0.5	300	350	22	8
17	0.5	357	438	53	14	51	0.4	31	200	20	6	85	0.2	260	450	20	3
18	1	266	300	15	11	52	0.6	266	339	33	5	86	0.9	400	450	39	6
19	0.7	241	383	69	2	53	0.1	190	296	48	6	87	0.3	200	461	33	9
20	0.9	127	469	50	14	54	0.4	94	195	25	1	88	0.8	423	491	10	15
21	0.5	161	487	40	3	55	0	87	500	42	11	89	0.9	100	300	20	2
22	0	62	147	30	12	56	0.9	300	447	35	2	90	1	400	540	30	5
23	0.6	380	424	25	7	57	1	200	350	14	2	91	1	260	350	20	4
24	0.8	384	469	38	7	58	0.9	270	400	55	13	92	0.4	0	240	11	9
25	1	299	508	50	1	59	0.6	46	120	24	11	93	0	300	540	30	5
26	1	119	407	30	7	60	0	103	220	44	15	94	0.8	450	500	28	7
27	0	331	432	10	2	61	0.1	381	416	30	9	95	0.7	264	400	16	4
28	0.2	231	266	33	12	62	0.2	400	450	29	14	96	0.2	100	450	51	4
29	0.7	111	309	10	12	63	0.4	406	438	15	12	97	0	0	540	20	15
30	0.4	400	534	15	1	64	0.7	243	300	14	10	98	0.2	90	540	45	7
31	0.4	201	254	5	15	65	0.7	88	113	23	10	99	1	300	540	35	14
32	0	5	105	5	9	66	1	200	300	45	1	100	0	0	300	25	10
33	0.7	162	314	90	15	67	0.1	100	500	15	4						

Çizelge 5.7. Deney2 için kullanılan ekip bilgileri

ID	St1	St2	Öt1	Öt2	S	ID	St1	St2	Öt1	Öt2	S
1	0	240	300	540	15	11	100	400	400	400	15
2	0	240	300	540	15	12	0	300	400	540	15
3	0	240	300	540	15	13	0	240	300	500	15
4	0	240	300	540	15	14	0	240	300	540	15

Çizelge 5.7. Deney2 için kullanılan ekip bilgileri(Devam)

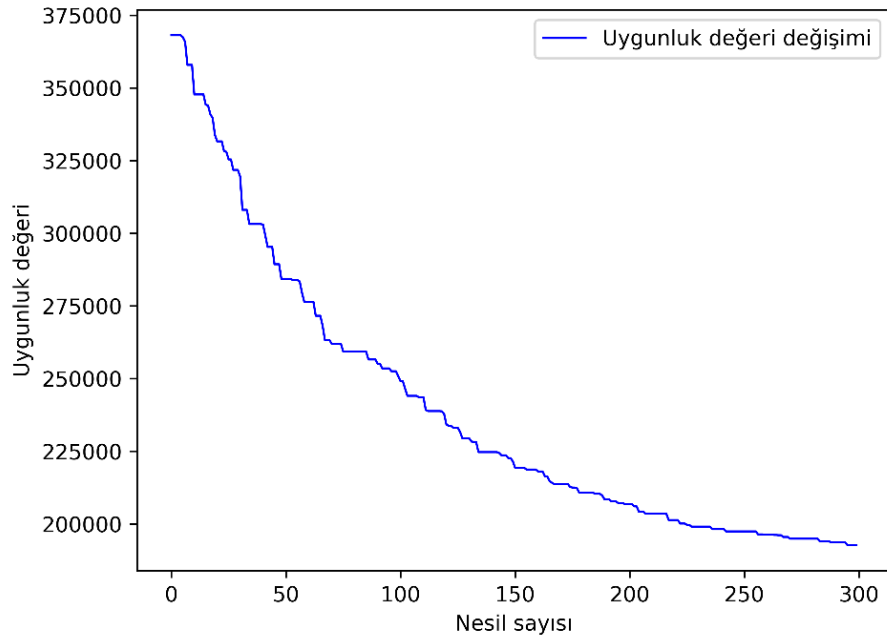
5	0	240	300	540	15	15	0	200	300	540	15
6	0	240	300	540	15	16	240	240	240	540	15
7	0	240	300	540	15	17	60	400	400	400	15
8	0	240	300	540	15	18	0	240	270	540	15
9	0	240	300	540	15	19	0	240	300	540	15
10	0	240	300	540	15	20	0	240	300	540	15

Çizelge 5.6’da ki hasta verileri ile Çizelge 5.7’deki ekiplere ait verilere göre GA aynı ceza katsayıları ile çalıştırıldığında Çizelge 5.8’deki sonuçlar alınmıştır.

Çizelge 5.8. Deney2’deki verilerle yapılan testlerin sonuçları

Test	KS	ÇO	ÇM	NS	İAY	ÇS	En iyi		En kötü	
							BNF	SNF	BNF	SNF
1	500	90	rnd	200	first	90	386984	214350	375430	233128
2	500	90	gf	200	first	88	378913	203682	376416	205737
3	500	90	rnd	200	team	95	374128	206657	381662	219504
4	500	90	gf	200	team	90	381520	212812	370631	231448
5	500	90	rnd	200	periyot	70	374797	215258	382785	225718
6	500	90	gf	200	periyot	90	372151	199290	372110	221655
7	1000	90	gf	200	periyot	130	376011	197532	382815	207373
8	500	95	gf	200	periyot	90	382812	207595	378939	218905
9	500	80	gf	200	periyot	75	376736	205861	376899	211064
10	1000	90	gf	200	first	175	370607	204212	370605	214862
11	1000	90	gf	200	team	178	373182	195000	373182	195000
12	1000	90	gf	300	team	270	384183	192907	370779	204756
13	1000	70	gf	300	team	220	368152	192704	381919	198015
14	1000	80	gf	300	team	240	375778	200355	355951	212462
15	1000	75	gf	300	team	230	384110	199396	384341	199538
16	1000	95	gf	300	team	320	362398	199310	377989	205368

Deney2’de uygunluk değeri içinde yolculuk için harcanan mesafe değeri olduğundan uygunluk değerinin sıfıra düşmesi mümkün değildir. Bütün testlerde GA’nın çözümü geliştirdiği görülmüştür. En iyi test verisi olan 13. teste ait uygunluk değeri değişimi Şekil 5.17’de görülebilir.



Şekil 5.17. Deney2 GA uygunluk değeri değişimi

13. test ile elde edilen rota bilgileri ise Çizelge 5.9'da görülebilir

Çizelge 5.9. Deney2 GA ile elde edilen rotalar

Ekip	Uygunluk	Metre	Güzergâh
Ekip1	8137	8167	0[0:0] - 74[20:64] - 21[161:201] - 75[300:357] - 84[358:380] - 61[382:412] - 63[416:431] - 0[540:540]
Ekip2	12753	12573	0[0:0] - 92[9:20] - 95[264:280] - 37[300:360] - 94[450:478] - 0[540:540]
Ekip3	7263	6983	0[0:0] - 51[45:65] - 15[257:282] - 19[300:369] - 24[407:445] - 0[540:540]
Ekip4	7325	7055	0[0:0] - 32[6:11] - 71[14:38] - 70[50:61] - 28[231:264] - 30[415:430] - 0[540:540]
Ekip5	7636	7406	0[0:0] - 89[249:269] - 88[423:433] - 0[540:540]
Ekip6	9607	9437	0[0:0] - 16[180:210] - 18[266:281] - 85[300:320] - 73[323:339] - 83[364:382] - 62[400:429] - 0[540:540]
Ekip7	7934	7474	0[0:0] - 59[71:95] - 69[98:138] - 39[198:278] - 47[280:285] - 45[386:396] - 43[405:428] - 5[468:478] - 0[540:540]

Çizelge 5.9. Deney2 GA ile elde edilen rotalar (Devam)

Ekip8	6466	6466	0[0:0] - 10[13:43] - 12[46:62] - 11[144:174] - 13[398:430] - 0[540:540]
Ekip9	4077	4077	0[0:0] - 44[170:183] - 9[212:227] - 38[355:366] - 0[540:540]
Ekip10	9776	9766	0[0:0] - 72[8:60] - 22[62:92] - 60[157:201] - 87[204:237] - 20[240:290] - 25[299:349] - 0[540:540]
Ekip11	10956	10956	0[100:100] - 26[119:149] - 29[151:161] - 31[201:206] - 55[211:253] - 3[256:316] - 2[357:367] - 0[400:400]
Ekip12	12295	11595	0[0:0] - 54[108:133] - 91[260:280] - 93[323:353] - 99[356:391] - 76[412:463] - 77[464:514] - 0[540:540]
Ekip13	13811	13621	0[0:0] - 97[13:33] - 65[88:111] - 98[113:158] - 96[187:238] - 64[243:257] - 36[343:390] - 42[412:452] - 0[500:500]
Ekip14	2886	2886	0[0:0] - 7[15:25] - 53[190:238] - 0[540:540]
Ekip15	11815	11815	0[0:0] - 67[152:167] - 66[200:245] - 68[300:343] - 17[357:410] - 0[540:540]
Ekip16	9620	9620	0[240:240] - 52[266:299] - 58[304:359] - 27[361:371] - 23[380:405] - 86[406:445] - 14[487:527] - 0[540:540]
Ekip17	9250	9250	0[60:60] - 6[65:85] - 78[91:111] - 82[155:173] - 79[256:266] - 80[300:315] - 81[316:342] - 0[400:400]
Ekip18	11667	11686	0[0:0] - 48[80:130] - 4[181:187] - 57[200:214] - 56[300:335] - 1[368:414] - 8[417:468] - 90[469:499] - 0[540:540]
Ekip19	5068	5008	0[0:0] - 40[100:220] - 41[272:277] - 46[305:325] - 50[483:498] - 49[507:517] - 0[540:540]
Ekip20	9662	9522	0[0:0] - 100[25:50] - 34[100:110] - 33[162:252] - 35[374:379] - 0[540:540]

Deney2 veriler için Greedy algoritma ile rotalar oluşturulduğunda Greedy algoritmada bütün hastaları eksiksiz olarak 1 sn'den kısa sürede rotalara yerleştirebilmiştir. Elde edilen rotalar Çizelge 5.10'da görülebilir

Çizelge 5.10. Deney2 Greedy Algoritma ile elde edilen rotalar

Ekip	Metre	Güzergâh
Ekip1	53889	0[0:0] - 97[13:33] - 72[48:100] - 100[112:137] - 92[142:153] - 71[161:185] - 10[193:223] - 7[230:240] - 68[300:343] - 78[353:373] - 3[380:440] - 98[447:492] - 93[496:526] - 0[540:540]
Ekip2	50046	0[0:0] - 32[6:11] - 74[20:64] - 12[69:85] - 51[89:109] - 70[114:125] - 6[129:149] - 37[159:219] - 4[229:235] - 84[300:322] - 55[333:375] - 67[390:405] - 20[412:462] - 99[474:509] - 0[540:540]
Ekip3	32418	0[0:0] - 59[46:70] - 22[77:107] - 48[117:167] - 96[179:230] - 81[300:326] - 26[338:368] - 21[375:415] - 87[418:451] - 25[456:506] - 30[509:524] - 0[540:540]
Ekip4	55542	0[0:0] - 69[60:100] - 54[105:130] - 34[137:147] - 60[160:204] - 89[213:233] - 80[300:315] - 44[322:335] - 15[342:367] - 95[382:398] - 85[412:432] - 8[442:493] - 90[494:524] - 0[540:540]
Ekip5	43836	0[0:0] - 65[88:111] - 29[124:134] - 16[143:173] - 11[177:207] - 82[213:231] - 56[300:335] - 57[336:350] - 46[357:377] - 27[384:394] - 38[401:412] - 1[419:465] - 88[471:481] - 5[488:498] - 50[504:519] - 0[540:540]
Ekip6	26886	0[0:0] - 40[100:220] - 31[226:231] - 47[235:240] - 73[320:336] - 75[340:397] - 45[408:418] - 24[427:465] - 77[477:527] - 0[540:540]
Ekip7	16862	0[0:0] - 53[190:238] - 36[343:390] - 35[391:396] - 62[410:439] - 42[449:489] - 49[507:517] - 0[540:540]
Ekip8	19219	0[0:0] - 9[212:227] - 2[357:367] - 17[380:433] - 76[444:495] - 0[540:540]
Ekip9	17015	0[0:0] - 83[364:382] - 23[385:410] - 43[421:444] - 94[453:481] - 0[540:540]
Ekip10	6708	0[0:0] - 61[381:411] - 63[415:430] - 14[487:527] - 0[540:540]
Ekip11	7631	0[100:100] - 33[162:252] - 39[259:339] - 0[400:400]
Ekip12	24040	0[0:0] - 66[200:245] - 64[262:276] - 79[284:294] - 86[400:439] - 0[540:540]

Çizelge 5.10. Deney2 Greedy Algoritma ile elde edilen rotalar (Devam)

Ekip13	2949	0[0:0] - 13[398:430] - 0[500:500]
Ekip14	0	Atama yapılmamış
Ekip15	0	Atama yapılmamış
Ekip16	10803	0[240:240] - 19[247:316] - 91[325:345] - 0[540:540]
Ekip17	11460	0[60:60] - 28[231:264] - 18[272:287] - 58[295:350] - 0[400:400]
Ekip18	4737	0[0:0] - 41[272:277] - 52[282:315] - 0[540:540]
Ekip19	0	Atama yapılmamış
Ekip20	0	Atama yapılmamış

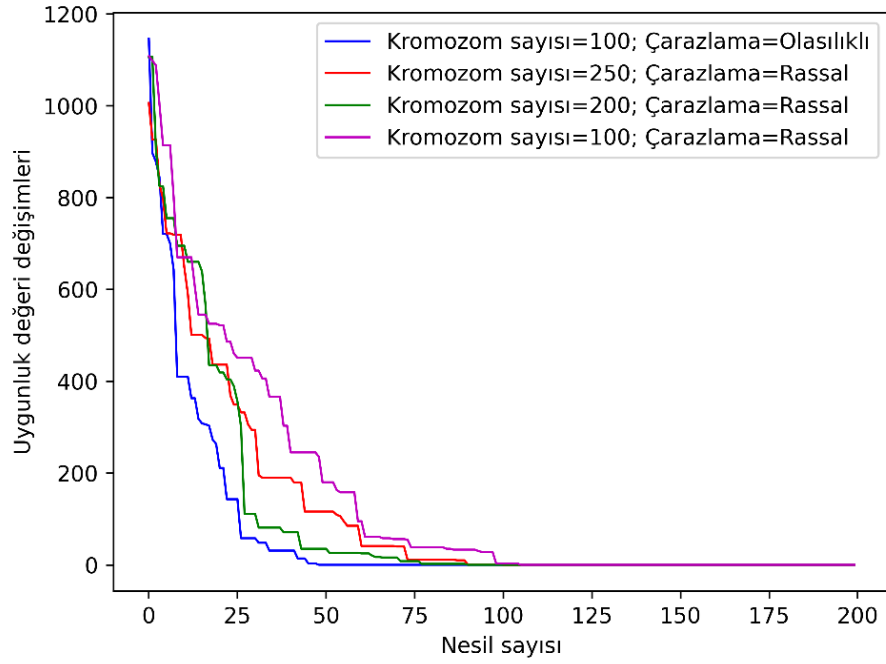
GA ile yapılan atamalar ile Greedy yöntemle yapılan atamalar incelendiğinde Greedy yöntemde hasta ve ekipler için bütün kısıtlara uyan toplam rota uzunluğu 384041 metre olan bir atama gerçekleştirilirken, GA’da ise toplam rota uzunluğu 175363 metre olmuştur. GA rota mesafesini azaltırken bazı hastaların ve ekiplerin isteklerinde ihlaller gerçekleştirmiştir. GA’nın uygunluk değerini oluşturan ceza katsayıları içinde mesafe kısıdının olması toplam rota mesafesinin azaltılmasını sağlamıştır.

Deney 3:

GA ile Greedy Algoritmanın Greedy algoritmada dikkat edilmeyen mesafe kısıtı devre dışı bırakılarak karşılaştırılması için Çizelge 5.6’daki hasta verileri ile Çizelge 5.7’deki ekiplere ait veriler kullanılarak GA sadece hasta zaman tercihi ve ekip zaman tercihi kısıtlarını dikkate alacak şekilde çalıştırılmıştır. Hastalar için her bir periyot ihlali 1 birim, ekipler için öğle arası ihlali ise 5 birim olarak ayarlandığında elde edilen sonuçlar Çizelge 5.11’de görülebilir. Elde edilen bu çözümlere ait uygunluk değeri değişimi ise Şekil 5.18’de görülebilir. ÇON değeri çözüme ulaşılan nesildir.

Çizelge 5.11. Deney3 ile elde edilen sonuçlar

Test	KS	ÇO	ÇM	NS	İAY	ÇS	En iyi			En kötü	
							BNF	SNF	ÇON	BNF	SNF
1	250	90	gf	200	period	37	1075	0	48	980	65
2	250	90	rnd	200	period	28	1006	0	100	1079	65
3	200	90	Gf	200	Period	33	1050	20	-	1150	90
4	200	90	rnd	200	Period	25	1106	0	90	1231	95
5	100	90	rnd	200	Period	13	1225	5		760	45
6	100	100	rnd	200	Period	13	1108	0	105	1225	95
7	70	100	Rnd	500	Period	25	1195	16		1285	180



Şekil 5.18. GA'nın farklı kromozom sayılarına göre uygunluk değeri değişimi

Şekil 5.18'de görüldüğü gibi rotalar için uzaklık değeri dikkate alınmadığında GA hasta ve ekipler için bütün hastalar ve ekipler için zaman çerçevesi kısıdına uyan ve öğle arasını ihlal etmeyen sonuçlar üretebilmiştir. Testler farklı kromozom sayıları ile tekrar edildiğinde beklendiği gibi kromozom sayısındaki artışın çözüme daha erken nesillerde yaklaşıldığını göstermektedir. Kromozom sayısının 100 den daha düşük olarak uygulandığı denemelerde çözüme yaklaşılsa da uygunluk değeri 0 olan sonuçlar elde edilememiştir.

Deney 4:

Çizelge 5.13'deki hasta ve Çizelge 5.12'deki ekip verileri ile 100 hasta ve 20 ekip için ihtiyaç-beceri eşleşmesi dikkate alınan, fakat zaman penceresi devre dışı bırakılan atamalar test edilmiştir.

Çizelge 5.12. Deney 4 için kullanılan ekip bilgileri

ID	St1	St2	Öt1	Öt2	S	ID	St1	St2	Öt1	Öt2	S
1	0	240	300	540	15	11	100	400	400	400	9
2	0	240	300	540	7	12	0	300	400	540	11
3	0	240	300	540	11	13	0	240	300	500	6
4	0	240	300	540	15	14	0	240	300	540	15
5	0	240	300	540	3	15	0	200	300	540	15

Çizelge 5.12. Deney 4 için kullanılan ekip bilgileri (Devam)

6	0	240	300	540	10	16	240	240	240	540	11
7	0	240	300	540	15	17	60	400	400	400	14
8	0	240	300	540	1	18	0	240	270	540	12
9	0	240	300	540	11	19	0	240	300	540	14
10	0	240	300	540	14	20	0	240	300	540	13

Çizelge 5.13. Deney 4 için kullanılan hasta bilgileri

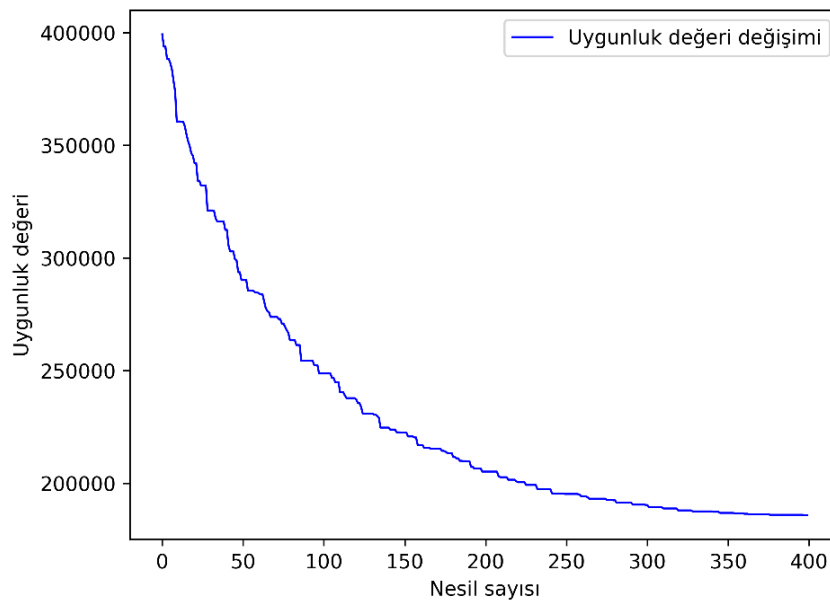
ID	Ön	Zc ₁	Zc ₂	Bk	Sk	ID	Ön	Zc ₁	Zc ₂	Bk	Sk	ID	Ön	Zc ₁	Zc ₂	Bk	Sk
0	0	0	540	0	0	34	0.6	0	540	10	7	68	0.7	0	540	43	0
1	1	0	540	46	6	35	0	0	540	5	2	69	0.9	0	540	40	12
2	0	0	540	10	3	36	0.7	0	540	47	10	70	0	0	540	11	6
3	0.6	0	540	60	12	37	0.9	0	540	120	5	71	0	0	540	24	13
4	0.6	0	540	6	12	38	0	0	540	11	6	72	0.2	0	540	52	12
5	0.3	0	540	10	12	39	0.8	0	540	80	4	73	0.9	0	540	16	13
6	0.9	0	540	80	5	40	1	0	540	150	3	74	0.7	0	540	44	9
7	0.7	0	540	10	11	41	0	0	540	5	4	75	0.7	0	540	57	9
8	0.2	0	540	51	13	42	0	0	540	40	0	76	1	0	540	51	14
9	1	0	540	104	15	43	0.3	0	540	23	12	77	0.8	0	540	57	14
10	0.6	0	540	72	8	44	0.5	0	540	13	13	78	0.2	0	540	47	7
11	0.5	0	540	30	0	45	0	0	540	10	15	79	0.4	0	540	44	10
12	0.9	0	540	16	15	46	0.3	0	540	20	13	80	0.6	0	540	15	6
13	0.1	0	540	32	1	47	0.3	0	540	5	4	81	0.9	0	540	26	3
14	0.8	0	540	40	7	48	0	0	540	100	11	82	0.4	0	540	18	7
15	0.8	0	540	46	11	49	0.3	0	540	10	9	83	0.5	0	540	18	8
16	0	0	540	71	9	50	0	0	540	15	0	84	0.5	0	540	22	8
17	0.5	0	540	53	14	51	0.4	0	540	20	6	85	0.2	0	540	48	3
18	1	0	540	15	11	52	0.6	0	540	33	5	86	0.9	0	540	39	6
19	0.7	0	540	69	2	53	0.7	0	540	48	6	87	0.3	0	540	33	9
20	0.9	0	540	100	14	54	0.4	0	540	25	1	88	0.8	0	540	10	15
21	0.5	0	540	90	3	55	0	0	540	42	11	89	0.9	0	540	20	2
22	0	0	540	30	12	56	0.9	0	540	35	2	90	1	0	540	30	5
23	0.6	0	540	25	7	57	1	0	540	14	2	91	1	0	540	30	4
24	0.8	0	540	38	7	58	0.9	0	540	55	13	92	0.4	0	540	11	9
25	1	0	540	80	1	59	0.6	0	540	24	11	93	0.9	0	540	30	5
26	1	0	540	91	7	60	0	0	540	44	15	94	0.8	0	540	28	7
27	0	0	540	13	2	61	0.1	0	540	30	9	95	0.7	0	540	16	4
28	0.2	0	540	33	12	62	1	0	540	29	14	96	0.2	0	540	51	4
29	0.7	0	540	10	12	63	0.8	0	540	15	12	97	0	0	540	60	15
30	0.4	0	540	15	1	64	0.7	0	540	14	10	98	0.2	0	540	45	7
31	0.4	0	540	5	15	65	0.7	0	540	23	10	99	1	0	540	35	14
32	0	0	540	5	9	66	1	0	540	45	1	100	0	0	540	27	10
33	0.7	0	540	120	15	67	0.1	0	540	57	4						

Çizelge 5.13'deki hasta ve Çizelge 5.12'deki verilerle elde edilen testlerin sonuçları Çizelge 5.14'te verilmiştir. Yapılan testler defalarca tekrar edilmiş ve her teste başlangıçta elde edilen uygunluk değerinin iyileştiği görülmüştür.

Çizelge 5.14. Deney 4 ile elde edilen test sonuçları

Test	KS	ÇO	ÇM	NS	İAY	ÇS	En iyi		En kötü	
							BNF	SNF	BNF	SNF
1	200	90	rnd	400	first	70	399964	225156	406102	236111
2	500	90	rnd	400	first	170	392543	197108	395232	209440
3	500	90	gf	400	first	200	401551	210724	389389	220203
4	1000	90	rnd	400	first	300	399186	187902	398957	195824
5	1000	90	gf	400	first	310	396664	194486	396133	204099
6	1000	90	rnd	400	team	285	399278	185882	395214	196409
7	1000	90	gf	400	team	330	405889	188899	405551	213271
8	1000	90	rnd	400	period	280	403261	191324	405162	214940
9	1000	90	gf	400	period	330	405566	195425	404847	208532

Çizelge 5.14'de görüldüğü üzere en iyi test sonucu 6. test ile elde edilmiştir. 6. test verisinin uygunluk değerini ne kadar geliştirebileceğini ölçmek için ile nesil sayısı artırılarak testlere devam edildiğinde 1000 nesile kadar uygunluk değerinde iyileşme devam etmiş ve 174868 değerine kadar düşmüştür. 1000 nesil için gereken ortalama çalışma zamanı ise 645 sn olmuştur. 6. test verisine ait uygunluk değeri değişim grafiği Şekil 5.19'da görülebilir.



Şekil 5.19. Deney 4, test 6 uygunluk değeri değişimi

Deney 4'teki veriler greedy algoritma ile çalıştırıldığında 1sn'den kısa sürede rotalar elde edilse de greedy yöntemle rotalara atanamayan hastalar olduğundan bu veriler için greedy yöntem olurlu sonuçlar vermemiştir.

Deney 5:

GA'nın rota mesafelerini ne kadar azaltabildiğini ölçmek için yapılmış deneydir. Amaç sadece rota mesafelerini azaltmak olduğundan hastalar için zaman tercihi, ihtiyaç ve öncelik durumları dikkate alınmamıştır. Hastalar için sadece mesafe ve hasta bakım süreleri dikkate alınmış ve sadece mesafe kısıtı kullanılmıştır. Ekipler için ise bütün ekiplerin tam zamanlı olarak 8 saat çalıştığı varsayılmıştır. Hasta verileri için daha öncede kullanılan Çizelge 5.13'teki veriler kullanılırken, ekipler için ise Çizelge 5.15'te görülen bilgiler kullanılmıştır.

Çizelge 5.15. Deney 5 için kullanılan ekip bilgileri

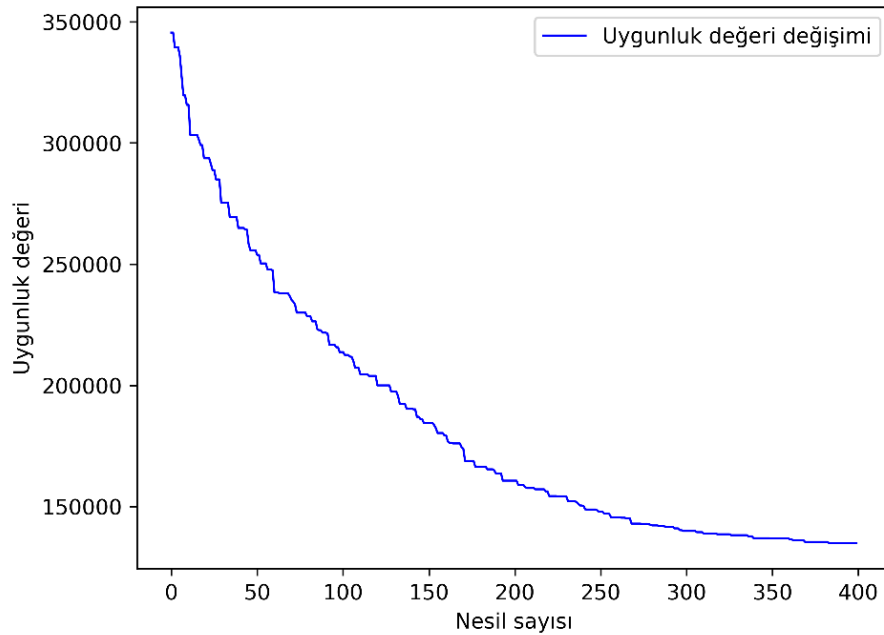
ID	St1	St2	Öt1	Öt2	S	ID	St1	St2	Öt1	Öt2	S
1	0	240	300	540	15	11	0	240	300	540	15
2	0	240	300	540	15	12	0	240	300	540	15
3	0	240	300	540	15	13	0	240	300	540	15
4	0	240	300	540	15	14	0	240	300	540	15
5	0	240	300	540	15	15	0	240	300	540	15
6	0	240	300	540	15	16	0	240	300	540	15
7	0	240	300	540	15	17	0	240	300	540	15
8	0	240	300	540	15	18	0	240	300	540	15
9	0	240	300	540	15	19	0	240	300	540	15
10	0	240	300	540	15	20	0	240	300	540	15

Çizelge 5.15'te görüldüğü üzere bütün ekiplerin beceri değeri 15 olduğundan bütün hastalar bütün ekiplere atanabilecek durumdadır. Bu sayede ihtiyaç-beceri eşleşmesi devre dışı bırakılmıştır. Ekiplerin çalışma zamanları ise hepsinde 8 saati oluşturacak şekilde 4 saat sabah, 1 saat öğle arası ve 4 saatte öğleden sonra olarak ayarlanmıştır. Çizelge 5.13'teki hasta verileri ve Çizelge 5.15'teki ekip verileri ile yapılan testlerin sonuçları Çizelge 5.16'da görülebilir.

Çizelge 5.16. Deney 5 ile elde edilen test sonuçları

Test	KS	ÇO	ÇM	NS	İAY	ÇS	En iyi		En kötü	
							BNF	SNF	BNF	SNF
1	200	90	rnd	200	first	33	342586	178555	343485	199382
2	500	90	rnd	200	first	72	347238	161979	345575	182840
3	1000	90	rnd	200	first	155	351205	161725	332209	171067
4	1000	90	rnd	400	first	330	336665	137636	343479	149378
5	1500	90	rnd	400	first	470	347472	137885	347472	142081
6	1000	90	gf	400	first	400	341264	142105	339598	156166
7	1000	90	rnd	400	team	300	334354	140731	335748	144309
8	1000	90	gf	400	team	340	338670	137153	339593	155440
9	1000	90	rnd	400	period	310	345518	134922	346730	148063
10	1000	90	gf	400	period	400	343778	152900	342574	160984

Çizelge 5.16'deki test sonuçları incelendiğinde bütün testlerde GA'nın uygunluk değerini iyileştirdiği görülebilir. Bütün testlerde uygunluk değeri aynı zamanda bütün rotaların toplam seyahat metresidir. Yaptığımız testlerde en iyi sonuç, 9 nolu test verisi ile elde edilmiştir. İlgili test ile elde edilen uygunluk değerinin değişimi Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Deney 5 test 9 uygunluk değeri değişimi

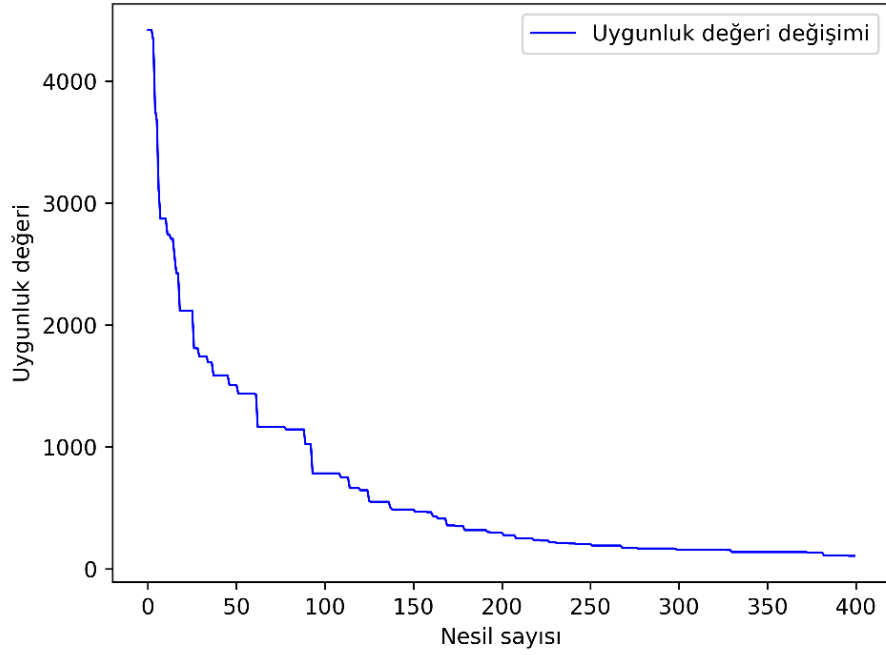
Deney 6:

GA'nın ekiplerin günlük yaptıkları mesafelerde adil bir dağılım yapip yapamadığını ölçmek için yapılmış deneydir. Amaç, sadece rota mesafelerini her ekip için dengeli dağıtmak olduğundan Deney 5'te kullanılan Çizelge 5.13'teki hasta ve Çizelge 5.13'deki ekip verileri kullanılmıştır. Hastalar için zaman tercihi, ihtiyaç ve öncelik durumları dikkate alınmamıştır. Hastalar için sadece mesafe ve hasta bakım süreleri dikkate alınmıştır. Ekipler için ise bütün ekiplerin tam zamanlı olarak 8 saat çalıştığı varsayılmıştır. Ekiplerin yaptıkları mesafelerin dengeli olmasını ölçmek için standart sapma kullanılmıştır. Standart sapmanın her bir metresi için 1 birim ceza puanı uygulanarak sapmanın azaltılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 5.17'de görülebilir. Bütün testlerde GA'nın gelişim gösterdiği ve rota mesafeleri arasındaki sapma değerini düşürdüğü görülebilir. En iyi uygunluk değeri ise 2. test sonucunda elde edilmiştir ve rota mesafeleri arasında 107 metre gibi bir sapma değeri elde edilmiştir. Bu deney de amaç sadece mesafelerin dengeli olması olduğundan toplam rota mesafeleri dikkate alınmamıştır.

Çizelge 5.17. Deney 6 ile elde edilen test sonuçları

Test	KS	ÇO	ÇM	NS	İAY	ÇS	En iyi		En kötü	
							BNF	SNF	BNF	SNF
1	1000	90	rnd	400	first	250	4478	181	4754	246
2	1000	90	gf	400	first	380	4420	107	4564	301
3	1000	90	rnd	400	team	240	3733	203	4350	266
4	1000	90	gf	400	team	365	4745	134	4674	214
5	1000	90	rnd	400	period	260	4444	156	4305	245
6	1000	90	gf	400	period	310	4155	138	4155	138
7	1000	90	rnd	400	first	365	4687	147	3985	357
8	2000	90	gf	400	first	780	3999	189	4154	2222
9	500	90	gf	400	first	170	4651	204	4079	373
10	750	90	gf	400	first	250	4785	160	4844	208

Çizelge 5.17'deki en iyi test sonucu olan 2 nolu test için uygunluk değeri değişimini gösteren grafik Şekil 5.21'de görülebilir.



Şekil 5.21. Deney 6 test 2 uygunluk değeri değişimi

Deney 7:

GA'nın ekiplerin turlarında adil bir yolculuk süresi dağılımı yapıp yapamadığını ölçmek için yapılmış deneydir. Çizelge 5.13'deki hasta ve Çizelge 5.13'deki ekip verileri kullanılacaktır. Hasta bakımları için harcanan sürenin azaltılması mümkün olmadığından problemin matematiksel modelinde amaç fonksiyonunda sadece yolculuk süreleri dikkate alınmıştır. Ekiplerin günlük çalışma periyotlarında ise hem yolculuk süresi hem de bakım zamanı olduğundan bu deney için matematiksel modelde değişiklik yapılarak F_3 denklemi 5.2'deki gibi değiştirilmelidir.

$$F_3 = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n Z_{S_{kij}} * Z_{i,j} - \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n Z_{S_{kij}} * Z_{i,j}}{m} \right)^2} \quad (5.1)$$

$$F_3 = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n Z_{S_{kij}} * (Z_{i,j} + B_{S_i}) - \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n Z_{S_{kij}} * (Z_{i,j} + B_{S_i})}{m} \right)^2} \quad (5.2)$$

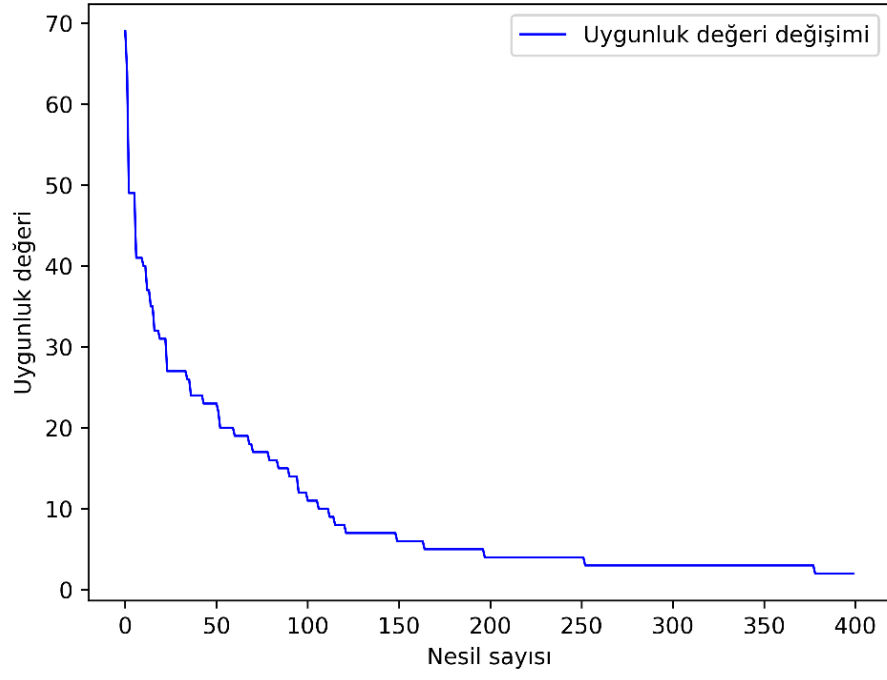
Bu deneyde amaç, sadece ekiplerin çalışma sürelerini dengelemek olduğundan Hastalar için zaman tercihi, ihtiyaç ve öncelik durumları dikkate alınmamıştır. Hastalar için sadece mesafe ve hasta bakım süreleri dikkate alınmıştır. Ekipler

için ise bütün ekiplerin tam zamanlı olarak 8 saat çalıştığı varsayılmıştır. Ekiplerin yolculuk zamanlarının ve hasta bakım süreleri toplamalarının dengeli olmasını ölçmek için standart sapma kullanılmıştır. Periyot cinsinden Standart sapmanın her bir değeri için 1 birim ceza puanı uygulanarak sapmanın azaltılması amaçlanmıştır. Testler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.18’de görülebilir.

Çizelge 5.18. Deney 7 ile elde edilen test sonuçları

Test	KS	ÇO	ÇM	NS	İAY	ÇS	En iyi		En kötü	
							BNF	SNF	BNF	SNF
1	1000	90	rnd	400	first	315	65	3	69	3
2	1000	90	gf	400	first	460	63	3	69	4
3	1000	90	rnd	400	team	345	64	3	64	4
4	1000	90	gf	400	team	505	54	3	53	5
5	1000	90	rnd	400	period	330	65	3	60	3
6	1000	90	gf	400	period	450	69	2	63	3
7	1500	90	gf	400	period	700	65	2	60	3
8	1000	95	gf	400	period	500	67	3	59	2
9	1000	100	gf	400	period	585	59	3	59	3
10	1000	90	gf	600	period	700	65	2	67	3

Çizelge 5.18’de görülen değerler incelendiğinde bütün testlerde GA başlangıçtaki uygunluk değerini iyileştirerek ekipler açısından dengeli bir atama gerçekleştirebilmiştir. GA bütün testlerde başarılı sonuçlar vermiştir. En iyi sonuçlar olan 6. 7. ve 10. testlerde GA ekipler arasındaki çalışma zamanı için sapma değerini 2’ye kadar düşürebilmiştir. En iyi uygunluk değerini veren 6. teste ait uygunluk değeri değişimini gösteren grafik Şekil 5.22’de görülebilir. Uygunluk değişimi incelendiğinde başlangıçta çok hızlı bir iyileşme olduğu daha sonra ise iyileşmenin azaldığı görülmüştür. En iyi uygunluk değeri olan 2 değerine 214. nesilde ulaşılmıştır. Diğer iyi sonuçlar olan 7. testte ise 2 değerine 256. Nesilde ulaşılırken 10. testte 490. Nesilde ulaşılmıştır. Farklı parametreler ile farklı zamanlarda aynı uygunluk değerine ulaşılmasının GA’nın her çalıştırmada farklı sonuçlar vermesinin bir sonucu olduğunu söylenebilir.



Şekil 5.22. Deney 7 test 6'ya ait uygunluk değeri değişimi

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Evde sağlık bakımı, hastalara kendi ev ortamlarında ihtiyaç duydukları sağlık hizmetinin verilmesidir. Hastaların kendi ev ortamlarında tedavi edilmesi ve bakım ihtiyaçlarının giderilmesi sağlık sistemi açısından maliyet avantajı sağlarken hastalar açısından da kendi ev ortamlarında tedavi alıyor olması tercih sebebi olmaktadır. Dünyada ki birçok ülkede ve Türkiye de doğumda beklenen ortalama yaşamın uzaması yaşlı nüfusun artmasına sebep olmuş, yaşlı nüfustaki bu artış sağlık bakımı ihtiyacını ve dolayısıyla sağlık harcamalarının artmasına sebep olmuştur. Dünyada ki birçok ülkeyle birlikte ülkemiz de hem geleneksel tedavi üzerindeki yükü azaltmak hem de daha ekonomik olduğu için evde sağlık bakımı teşvik etmektedir.

Dünyadaki diğer örnekler incelendiğinde özellikle gelişmiş ülkelerde başlayan evde bakım ve evde sağlık bakımı hizmeti, hemşireler ve hasta bakıcılarla ev ziyaretleri şeklinde uzun dönem yaşlı bakımına odaklanmıştır. Ülkemizde de benzer şekilde belediyelerin ya da özel kuruluşların sağladığı yaşlı bakımı şeklinde hizmetler mevcuttur. Bunun dışında ülkemizde uygulanan evde sağlık bakımı yaşlı bakımıyla birlikte evde hasta tedavisine de odaklanmış en son 2015 te yapılan yasal bir düzenleme ile evde sağlık bakımı uygulamasının şekli ve yöntemi ifade edilmiştir. Ülkemizdeki mevcut uygulamada kamu olaya daha çok evde sağlık bakımı olarak bakmaktadır. Yasal mevzuat incelendiğinde sistem içinde hasta, sağlık personeli ve sağlık merkezi kavramlarının olduğu görülebilir. Yasal düzenleme ile evde sağlık bakımı merkezleri koordinasyonunda hastalara ekiplerle ziyaretler gerçekleştirileceği, ekip içinde birden çok sağlık çalışanının bulunabileceği, ekiplere araç tahsisi yapılacağı ve hastaların randevu ile ziyaret edilmesinin esas olduğu bilgileri yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında 2015'te yasal düzenleme ile şekli belirlenen evde sağlık bakımı hizmeti ortalama probleminin çözülmesi hedeflenmiştir. Tez çalışmasında yasal mevzuatla belirlenen bütün kısıtlamaları dikkate alan rotaların oluşturulmasına çalışılmıştır. Bunun için önce problemin tanımı yapılmış ve tanıma uygun bir matematiksel model geliştirilmiştir. Ekipler ve

hastaların doğru şekilde eşleştirilmesi hem ekip becerilerinin doğru kullanılması hem de hastalara uygun ekibin atanması açısından oldukça önemlidir. Bu eşleştirme için daha önce literatürde karşılaşmadığımız her bir becerinin ayrı bitlerle ifade edildiği ve hasta-ekip eşleşmesi için bit seviyesinde AND operatörü ile çalışan yeni bir yöntem önerilmiştir. Ekiplerin becerileri ve hastaların ihtiyaçları ikilik bitlerle ifade edilebildiğinden hastaların sağlık çalışanı cinsiyet tercihi de bir ihtiyaç ve beceri gibi ele alınarak kolayca modele eklenmiştir. Literatürde cinsiyet tercihlili atamalar olsa da bizim çalışmamızda bu durum ayrı bir kısıt gibi ele alınmamış hasta ve ekip için ihtiyaç-beceri bitleri ile çözülmüştür. Sağlık çalışanı cinsiyeti, ekipte bulunan cinsiyetler ve hastanın cinsiyet tercihi için modele yeni bir kısıt eklenmesine gerek kalmadan cinsiyet bitleri ile çözülmesi modelin basitleştirilmesini de sağlamıştır.

Problemin çözümüne ait matematiksel model çok amaçlı olarak geliştirildiğinden evde sağlık bakım merkezi her bir fonksiyonun katsayısını değiştirerek istediği amaca uygun rotalar oluşturabilmektedir. Bu sayede hasta memnuniyeti, ekip memnuniyeti, mesafe, işgücü dengelenmesi gibi ayrı amaçlar için çözüm sunulmuştur. Katsayılar ayarlanarak her bir alt fonksiyonun amaç fonksiyonuna etkisi istenildiği gibi ayarlanabilir. Bu durum değişen koşullara adapte olabilme açısından sağlık kuruluşuna ciddi avantajlar sağlayabilir. Ekip sayısına göre her gün için ayrı hedefler amaçlanarak rotalar oluşturulabilecektir.

Problemin çözümü için rotalama problemlerinde kullanılabilen sezgisel bir yaklaşım olan Genetik Algoritma kullanılmış ve GA'nın performansını ölçmek ve karşılaştırmalar için greedy bir yöntem geliştirilmiştir. Problem aynı gün içinde ziyaret edilmesi gereken hastaların rotalara yerleştirilmesine odaklanmıştır. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu çok amaçlı olduğundan her bir fonksiyon için ayrı ayrı testler yapılarak rotaların istenildiği yönde geliştirilebildiği gösterilmiştir. Sonuç olarak GA problemi çözebilmiş ve uygun rotalar oluşturabilmiştir. GA'nın sonucunu etkileyen başlangıç kromozomlarının oluşturulması, kromozom sayısı, çaprazlama oranı, çaprazlama yöntemi ve nesil sayısı gibi parametreler değiştirildiğinde GA'da farklı sonuçlar vermiştir. Yapılan testler veri kümesine göre GA parametrelerinin değiştirilmesi gerektiğini göstermiştir. GA ile yapılan atamaları test etmek için geliştirilen Greedy algoritma

ise çok hızlı sonuçlar üretse de bazı deney setlerinde olurlu çözümler üretememiştir. Sonuç olarak ülkemizde uygulanan evde sağlık bakımı rotalama probleminin sezgisel bir yöntem olan GA ile çözülebileceği görülmüştür.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda araştırmacılar; aracın bozulması, kapalı yol, hasta ziyaretinin iptal edilmesi, ziyaret bakım süresinin sonraki hasta zaman penceresine uzaması gibi durumları da dikkate alan, ekiplerin ziyaret ettiği noktalardan nesnelerin interneti ile geri besleme olarak mevcut duruma göre gerçek zamanlı olarak en uygun rotayı oluşturabilen algoritmalar üzerine çalışabilir. Ekiplerin iş yükü dengesine rota mesafesi ve çalışma zamanı dışında iş zorluğu gibi parametrelerde eklenebilir. Ayrıca tez çalışmasında önerilen ekip beceri bitleri kullanılarak; önceki ziyaret verileri, ülkemizin demografik yapısı, da dikkate alarak kısa dönem ve uzun dönem için gerekli olabilecek evde bakım sağlık personeli sayısı ve ihtiyaç duyulan becerilerinin tahmin edilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Ekiplerin rota başlangıç ve bitişlerinin sağlık merkezi haricinde başka bir noktadan başlayıp bitebildiği çalışmalara ağırlık verilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmadi, E., Goldengorin, B., Süer, G. A., Mosadegh, H., 2018. A hybrid method of 2-TSP and novel learning-based GA for job sequencing and tool switching problem. *Applied Soft Computing Journal*, 65, 214–229. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.12.045>
- Ait Haddadene, S. R., Labadie, N., Prodhon, C., 2016. A GRASP $\times$ ILS for the vehicle routing problem with time windows, synchronization and precedence constraints. *Expert Systems with Applications*, Vol. 66, pp. 1339–1351. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.09.002>
- Ait Haddadene, S. R., Labadie, N., Prodhon, C., 2019. Bicriteria vehicle routing problem with preferences and timing constraints in home health care services. *Algorithms*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/a12080152>
- Akaltun, H., Ersin, F., 2016. Evde Bakım Hizmeti Alan Diyabetli Hastaların Diyabet Tutum ve Davranışlarının Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 9(4), 126–133. <http://www.deuhyoedergi.org/index.php/DEUHYOED/article/view/242>
- Akdemir, N., 2001. Sağlık Hizmetlerinde Süreklilik: “Evde Bakım Hizmeti”. *Yeni Türkiye Sağlık Özel Sayısı*, 39, 926–934.
- Algethami, H., Martínez-Gavara, A., Landa-Silva, D., 2019. Adaptive multiple crossover genetic algorithm to solve workforce scheduling and routing problem. *Journal of Heuristics*, 25, 753–792. <https://doi.org/10.1007/s10732-018-9385-x>
- Alvarenga, G. B., Mateus, G. R., de Tomi, G., 2007. A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows. *Computers and Operations Research*, 34(6 SPEC. ISS.), 1561–1584. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.07.025>
- Araujo De Carvalho, I., Epping-Jordan, J., Margriet, A., Kelley, E., Toro, N., Thiagarajan, J. A., Beard, J. R., 2017. Organizing integrated health-care services to meet older people’s needs. *Bull World Health Organ*, 95, 756–763. <https://doi.org/10.2471/BLT.16.187617>
- Arbaje, A., Hughes, A., Werner, N., Carl, K., Hohl, D., Jones, K., ... Gurses, A. P., 2019. Information management goals and process failures during home visits for middle-aged and older adults receiving skilled home healthcare services after hospital discharge: a multisite, qualitative study. *BMJ Qual Saf*, 28, 111–120. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2018-008163>

- Aydoğdu, B., Özyörük, B., 2019. Dinamik eş zamanlı topla dağıt araç rotalama probleminin çözümü için matematiksel model ve sezgisel yaklaşım: Rassal iteratif yerel arama değişken komşu iniş algoritması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(2), 563–580. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.490179>
- Azadeh, A., Farrokhi-Asl, H., 2019. The close–open mixed multi depot vehicle routing problem considering internal and external fleet of vehicles. Transportation Letters, 11(2), 78–92. <https://doi.org/10.1080/19427867.2016.1274468>
- Baker, B. M., Ayechew, M. A., 2003. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. Computers and Operations Research, 30(5), 787–800. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00051-5)
- Baniamerian, A., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2019. Modified variable neighborhood search and genetic algorithm for profitable heterogeneous vehicle routing problem with cross-docking. Applied Soft Computing Journal, 75, 441–460. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.029>
- Begur, S. V., Miller, D. M., Weaver, J. R., 1997. An integrated spatial DSS for scheduling and routing home-health-care nurses. Interfaces, 27(4), 35–48. <https://doi.org/10.1287/inte.27.4.35>
- Bentur, N., 2001. Hospital at home: What is its place in the health system? Health Policy, 55(1), 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0168-8510\(00\)00114-7](https://doi.org/10.1016/S0168-8510(00)00114-7)
- Bertels, S., Fahle, T., 2006. A hybrid setup for a hybrid scenario: Combining heuristics for the home health care problem. Computers and Operations Research, 33(10), 2866–2890. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.01.015>
- Borsani, V., Matta, A., Beschi, G., Sommaruga, F., 2006. A home care scheduling model for human resources. Proceedings - ICSSSM'06: 2006 International Conference on Service Systems and Service Management, 1, 449–454. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2006.320504>
- Braekers, K., Hartl, R. F., Parragh, S. N., Tricoire, F., 2016. A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience. European Journal of Operational Research, 248(2), 428–443. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.028>
- Caceres, H., Batta, R., He, Q., 2019. Special need students school bus routing: Consideration for mixed load and heterogeneous fleet. Socio-Economic Planning Sciences, 65, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.02.008>

- Campbell, A. M., Savelsbergh, M., 2004. Efficient insertion heuristics for vehicle routing and scheduling problems. *Transportation Science*, 38(3), 369–378. <https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0046>
- Chang, F. S., Wu, J. S., Lee, C. N., Shen, H. C., 2014. Greedy-search-based multi-objective genetic algorithm for emergency logistics scheduling. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2947–2956. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.026>
- Cheng, E., Rich, J. L., 1998. A Home Health Care Routing and Scheduling Problem.
- Chowmali, W., Sukto, S., 2020. A novel two-phase approach for solving the multi-compartment vehicle routing problem with a heterogeneous fleet of vehicles: A case study on fuel delivery. *Decision Science Letters*, 9(1), 77–90. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2019.7.003>
- Clarke, G., Wright, J. W., 1964. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
- Çoban, M., 2003. Evde Bakım Hizmetleri Konusunda Görüş Belirleme: Sosyal Sigortalar Kurumu Ankara Eğitim Hastanesi Doktorları ve Hemşireleri Üzerinde Bir Uygulama. Ankara Üniversitesi, Sağlık Yönetimi Yüksek Lisans Programı, YL Tezi, 162s, Ankara.
- Çoban, M., 2015. Evde Bakım Hizmet Sisteminin Almanya ve Türkiye Örneğinde İncelenmesi ve Türkiye İçin bir Model Önerisi. Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sağlık Kurumları Yönetimi Bilim Dalı, Doktora Tezi, 275s, Ankara.
- Çolak, R., Işık, A. H., Yiğit, T., 2019. A New Method for Routing in Home Health Care Services. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 10(4), 14–27. <https://doi.org/10.18662/BRAIN/02>
- Çubukçu, M., Yazıcıoğlu, B., 2016. Samsun Eğitim ve Araştırma Hastanesi Evde Sağlık Hizmetleri Birimine Kayıtlı Hastaların Değerlendirilmesi. *Ankara Med J*, 16(4), 325–356. <https://doi.org/10.17098/amj.70290>
- De Angelis, V., 1998. Planning home assistance for AIDS patients in the city of Rome, Italy. *Interfaces*, 28(3), 75–83. <https://doi.org/10.1287/inte.28.3.75>
- De Carvalho, I. A., Epping-Jordan, J. A., Pot, A. M., Kelley, E., Toro, N., Thiyagarajan, J. A., Beard, J. R., 2017. Organizing integrated health-care services to meet older people's needs. *Bulletin of the World Health Organization*, 95(11), 756–763. <https://doi.org/10.2471/BLT.16.187617>

- Diana, M., Dessouky, M. M., 2004. A new regret insertion heuristic for solving large-scale dial-a-ride problems with time windows. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(6), 539–557. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2003.07.001>
- Dowding, D., Russell, D., Trifilio, M., McDonald, M. V., Shang, J., 2020. Home Care Nurses' Identification of Patients at Risk of Infection and their Risk Mitigation Strategies: A Qualitative Interview Study. *International Journal of Nursing Studies*, 103617. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2020.103617>
- Dudzinski, C. S., Homer Erekson, O., Ziegert, A. L., 1998. Estimating an hedonic translog cost function for the home health care industry. *Applied Economics*, 30(9), 1259–1267. <https://doi.org/10.1080/000368498325147>
- Elbenani, B., Ferland, J. A., Gascon, V., 2008. Mathematical programming approach for routing home care nurses. 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2008, 107–111. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2008.4737841>
- Erdem, M., Koç, Ç., 2019. Analysis of electric vehicles in home health care routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1471–1483. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.236>
- Eveborn, P., Flisberg, P., Rönnqvist, M., 2006. Laps Care-an operational system for staff planning of home care. *European Journal of Operational Research*, 171(3), 962–976. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.011>
- Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M., Mirjalili, S., 2020. A set of efficient heuristics for a home healthcare problem. *Neural Computing and Applications*, 32(10), 6185–6205. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04126-8>
- Fernandez, A., Gregory, G., Hindle, A., Lee, A. C., 1974. A model for community nursing in a rural county. *Journal of the Operational Research Society. Operational Research Quarterly*, 25(2), 231–239. <https://doi.org/10.1057/jors.1974.40>
- Fikar, C., Hirsch, P., 2015. A matheuristic for routing real-world home service transport systems facilitating walking. *Journal of Cleaner Production*, 105, 300–310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.013>
- Fikar, C., Hirsch, P., 2017. Home health care routing and scheduling: A review. *Computers and Operations Research*, 77, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.07.019>

- Frifita, S., Masmoudi, M., Euch, J., 2017. General variable neighborhood search for home healthcare routing and scheduling problem with time windows and synchronized visits. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 58, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2017.03.009>
- Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., Stan, M., 1998. A generalized insertion heuristic for the traveling salesman problem with time windows. *Operations Research*, 46(3), 330–346. <https://doi.org/10.1287/opre.46.3.330>
- Ghoseiri, K., Ghannadpour, S. F., 2010. Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 10(4), 1096–1107. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.04.001>
- Goldberg, D. E., Lingle, R. J., 1985. Alleles, loci, and the traveling salesman problem. In *Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, 154–159. Pittsburgh, PA: Carnegie-Mellon University.
- Gunawan, S., Susyanto, N., Bahar, S., 2019. Vehicle routing problem with pick-up and deliveries using genetic algorithm in express delivery services. *AIP Conference Proceedings*, 2192(1), 060009. <https://doi.org/10.1063/1.5139155>
- Harrison, M., Juniper, E., Mitchell-DiCenso, A., 1996. Quality of life as an outcome measure in nursing research. *Canadian Journal of Nursing Research Archive*, 28(3).
- Hasançebi, O., Erbatur, F., 2000. Evaluation of crossover techniques in genetic algorithm based optimum structural design. *Computers and Structures*, 78(1), 435–448. [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(00\)00089-4](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(00)00089-4)
- Herbawi, W., Weber, M., 2012. A genetic and insertion heuristic algorithm for solving the dynamic ridematching problem with time windows. *GECCO'12 - Proceedings of the 14th International Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, 385–392. <https://doi.org/10.1145/2330163.2330219>
- Hiermann, G., Prandtstetter, M., Rendl, A., Puchinger, J., Raidl, G. R., 2013. Metaheuristics for solving a multimodal home-healthcare scheduling problem. *Central European Journal of Operations Research*, 23(1), 89–113. <https://doi.org/10.1007/s10100-013-0305-8>
- Işık, O., Kandemir, A., Akif, M. E., Fidan, C., Işık, O., A. K., ... Fidan, C., 2016. Evde Sağlık Hizmeti Alan Hastaların Profili ve Sunulan Hizmetin Değerlendirilmesi. *Hacettepe Sağlık*, 19(2), 171–186. <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/hacettepesid/article/view/500019432>

- Jones, C. D., Ginde, A. A., Burke, R. E., Wald, H. L., Masoudi, F. A., Boxer, R. S., 2015, June 1. Increasing home healthcare referrals upon discharge from U.S. Hospitals: 2001-2012. *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol. 63, pp. 1265-1266. <https://doi.org/10.1111/jgs.13467>
- Joubert, J., Claasen, S., 2006. A sequential insertion heuristic for the initial solution to a constrained vehicle routing problem. *ORiON*, 22(1). <https://doi.org/10.5784/22-1-36>
- Kalinkara, V., Kalaycı, I., 2017. YAŞLIYA EVDE BAKIM HİZMETİ VEREN BİREYLERDE YAŞAM DOYUMU, BAKIM YÜKÜ VE TÜKENMİŞLİK. *Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi, YSAD*, 10(2), 19-39. <http://dergipark.gov.tr/yasad>
- Karabağ, H., 2007. Evde Sağlık Bakım Hizmetlerinin Türkiye’ de Uygulanabilirliğine İlişkin Hekimlerin Görüşleri ve Kardiyoloji Hastaları için Hastane Destekli Evde Bakım Hizmetleri Model Önerisi. Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Hastane İşletmeciliği Yüksek Lisans Programı, YL Tezi, 120s, Ankara.
- KARAGÜL, K., TOKAT, S., AYDEMİR, E., 2016. KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİNDE BAŞLANGIÇ ROTALARININ KURULMASI İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(3), 215. <https://doi.org/10.21923/jesd.60313>
- Karamercan, E., 2001. Evde Bakım; Sağlık Hizmetlerinde Yeni Bir Olgu. *Yeni Türkiye Sağlık Özel Sayısı*, 39, 935-944.
- Kass, D. I., 1987. Economics of scale and scope in the provision of home health services. *Journal of Health Economics*, 6(2), 129-146. [https://doi.org/10.1016/0167-6296\(87\)90003-8](https://doi.org/10.1016/0167-6296(87)90003-8)
- Kaya, Ç. A., Mercan, E., Çiftçili, S., 2018. Evde sağlık hizmeti almak için başvuran inmeli hastaların sağlık ve bakım ihtiyaçları -. *The Journal of Turkish Family Physician*, 69-77. <http://turkishfamilyphysician.com/makaleler/arastirma/evde-saglik-hizmeti-almak-icin-basvuran-inmeli-hastalarin-saglik-bakim- ihtiyaclari/>
- Kirci, P., 2016. An optimization algorithm for a capacitated vehicle routing problem with time windows. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 41(5), 519-529. <https://doi.org/10.1007/s12046-016-0488-5>
- Lin, C. C., Hung, L. P., Liu, W. Y., Tsai, M. C., 2018. Jointly rostering, routing, and rerostering for home health care services: A harmony search approach with genetic, saturation, inheritance, and immigrant schemes. *Computers and Industrial Engineering*, 115, 151-166. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.004>

- Lin, Y.-K., Chin, ., Chong, S., Chong, C. S., 2017. Fast GA-based project scheduling for computing resources allocation in a cloud manufacturing system. 28, 1189–1201. <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1074-0>
- Liu, R., Jiang, Z., Fung, R. Y. K., Chen, F., Liu, X., 2010. Two-phase heuristic algorithms for full truckloads multi-depot capacitated vehicle routing problem in carrier collaboration. *Computers and Operations Research*, 37(5), 950–959. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.08.002>
- Liu, R., Yuan, B., Jiang, Z., 2017. Mathematical model and exact algorithm for the home care worker scheduling and routing problem with lunch break requirements. *International Journal of Production Research*, 55(2), 558–575. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1213917>
- Liu, R., Yuan, B., Jiang, Z., 2020. The Large-Scale Periodic Home Health Care Server Assignment Problem: A Region-Partition-Based Algorithm. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1109/TASE.2020.2964101>
- Louis, S. J., Yin, X., Yuan, Z. Y., 1999. Multiple vehicle routing with time windows using genetic algorithms. *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, CEC 1999*, 3, 1804–1808. <https://doi.org/10.1109/CEC.1999.785493>
- Lu, Q., Dessouky, M. M., 2006. A new insertion-based construction heuristic for solving the pickup and delivery problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 672–687. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.012>
- MACINTYRE, C. R., RUTH, D., ZAHID ANSARI, 2002. Hospital in the home is cost saving for appropriately selected patients: a comparison with in-hospital care. *International Journal for Quality in Health Care*, 14, 285–293.
- Madigan, E. A., Gordon, N. H., Fortinsky, R. H., Koroukian, S. M., Piña, I., Riggs, J. S., 2012. Rehospitalization in a National Population of Home Health Care Patients with Heart Failure. *Health Services Research*, 47(6), 2316–2338. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6773.2012.01416.x>
- Mankowska, D. S., Meisel, F., Bierwirth, C., 2014. The home health care routing and scheduling problem with interdependent services. *Health Care Management Science*, 17(1), 15–30. <https://doi.org/10.1007/s10729-013-9243-1>
- Maya Duque, P. A. A., Castro, M., Sörensen, K., Goos, P., 2015. Home care service planning. The case of Landelijke Thuiszorg. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 292–301. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2014.11.008>

- Mehlawat, M. K., Gupta, P., Khaitan, A., Pedrycz, W., 2020. A Hybrid Intelligent Approach to Integrated Fuzzy Multiple Depot Capacitated Green Vehicle Routing Problem With Split Delivery and Vehicle Selection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28(6), 1155–1166. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2019.2946110>
- Milburn, A. B., Spicer, J., 2013. Multi-objective home health nurse routing with remote monitoring devices. *International Journal of Planning and Scheduling*, 1(4), 242. <https://doi.org/10.1504/ijps.2013.059677>
- Müller, C., Lautenschläger, S., Meyer, G., Stephan, A., 2017. Interventions to support people with dementia and their caregivers during the transition from home care to nursing home care: A systematic review. *International Journal of Nursing Studies*, Vol. 71, pp. 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2017.03.013>
- Murtaugh, C. M., Deb, P., Zhu, C., Peng, T. R., Barrón, Y., Shah, S., ... Siu, A. L., 2017. Reducing Readmissions among Heart Failure Patients Discharged to Home Health Care: Effectiveness of Early and Intensive Nursing Services and Early Physician Follow-Up. *Health Services Research*, 52(4), 1445–1472. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.12537>
- Nazif, H., Lee, L. S., 2012. Optimised crossover genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 36(5), 2110–2117. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.08.010>
- Nickel, S., Schröder, M., Steeg, J., 2012. Mid-term and short-term planning support for home health care services. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 574–587. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.10.042>
- Nucamendi-Guillén, S., Angel-Bello, F., Martínez-Salazar, I., Cordero-Franco, A. E., 2018. The cumulative capacitated vehicle routing problem: New formulations and iterated greedy algorithms. *Expert Systems with Applications*, 113, 315–327. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.07.025>
- Nyman, J. A., Dowd, B. E., 1991. Cost function analysis of Medicare policy: Are reimbursement limits for rural home health agencies sufficient? *Journal of Health Economics*, 10(3), 313–327. [https://doi.org/10.1016/0167-6296\(91\)90032-I](https://doi.org/10.1016/0167-6296(91)90032-I)
- Önder, T., Anuk, T., Kahraman, Ş., Yıldırım, A. C., 2015. Evde bakım hizmetinden yararlanan hastaların sosyodemografik özellikleri ve tıbbi durumlarının değerlendirilmesi. *Dicle Medical Journal / Dicle Tıp Dergisi*, 42(3), 342–345. <https://doi.org/10.5798/diclemedj.0921.2015.03.0586>

- Ouertani, N., Nouaouri, I., Ben-Romdhane, H., Allaoui, H., Krichen, S., 2019. A Hypermutation Genetic Algorithm for the Dynamic Home Health-Care Routing Problem. Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM 2019. <https://doi.org/10.1109/IESM45758.2019.8948088>
- Pachauri, A., Srivastava, G., 2013. Automated test data generation for branch testing using genetic algorithm: An improved approach using branch ordering, memory and elitism. Journal of Systems and Software, 86(5), 1191–1208. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.11.045>
- Poon, P. W., Carter, J. N., 1995. Genetic algorithm crossover operators for ordering applications. Computers and Operations Research, 22(1), 135–147. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)E0024-N](https://doi.org/10.1016/0305-0548(93)E0024-N)
- Posada, A., Rivera, J. C., Palacio, J. D., 2020. Selective Vehicle Routing Problem: A Hybrid Genetic Algorithm Approach. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45715-0_12
- Rahnamayan, S., Tizhoosh, H. R., Salama, M. M. A., 2007. A novel population initialization method for accelerating evolutionary algorithms. Computers and Mathematics with Applications, 53(10), 1605–1614. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2006.07.013>
- Rasmussen, M. S., Justesen, T., Dohn, A., Larsen, J., 2012. The Home Care Crew Scheduling Problem: Preference-based visit clustering and temporal dependencies. European Journal of Operational Research, 219(3), 598–610. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.10.048>
- Redjem, R., Marcon, E., 2016. Operations management in the home care services: a heuristic for the caregivers??? routing problem. Flexible Services and Manufacturing Journal, 28(1–2), 280–303. <https://doi.org/10.1007/s10696-015-9220-8>
- Resmigazete. 2005. Resmi Gazete. Erişim Tarihi: 20.03.2020. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/03/20050310-5.htm>.
- Rest, K.-D., Hirsch, P., 2016. Daily scheduling of home health care services using time-dependent public transport. Flexible Services and Manufacturing Journal, 28(3), 495–525. <https://doi.org/10.1007/s10696-015-9227-1>
- Rosko, M. D., Chilingirian, J. A., Zinn, J. S., Aaronson, W. E., 1995. The effects of ownership, operating environment, and strategic choices on nursing home efficiency. Medical Care, 33(10), 1001–1021. <https://doi.org/10.1097/00005650-199510000-00003>
- Ruiz, E., Soto-Mendoza, V., Ruiz Barbosa, A. E., Reyes, R., 2019. Solving the open vehicle routing problem with capacity and distance constraints with a biased random key genetic algorithm. Computers Industrial Engineering, 133, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.002>

- Sağlık Bakanlığı. Sağlık Bakanlığınca Sunulan Evde Sağlık Hizmetlerinin Uygulama Usul ve Esasları Hakkında Yönerge. , Pub. L. No. 3895, 2010.
- Sağlık Bakanlığı. Sağlık Bakanlığı Ve Bağlı Kuruluşları Tarafından Evde Sağlık Hizmetlerinin Sunulmasına Dair Yönetmelik. , Pub. L. No. 29280, 2015.
- Şahin, A. D., Seyrek, S., Ertürk, A., Artantaş, A. B., 2017. Evde Bakım Hastalarında Bası Yaraları ve Hastaların Demografik Özellikleri. Konuralp Tıp Dergisi, 9, 14–18.
- Salhi, S., Petch, · R J., 2007. A GA Based Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Multiple Trips. J Math Model Algor, 6, 591–613. <https://doi.org/10.1007/s10852-007-9069-2>
- Shi, Y., Boudouh, T., Grunder, O., 2017. A hybrid genetic algorithm for a home health care routing problem with time window and fuzzy demand. Expert Systems with Applications, 72, 160–176. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.013>
- Simon, D., Ergezer, M., Du, D., 2009. Population distributions in biogeography-based optimization algorithms with elitism. Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 991–996. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2009.5346058>
- Solomon, M. M., 1987. ALGORITHMS FOR THE VEHICLE ROUTING AND SCHEDULING PROBLEMS WITH TIME WINDOW CONSTRAINTS. Operations Research, 35(2), 254–265. <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- SPRATT, J. S., HAWLEY, R. L., HOYE, R. E., 1997. Home Health Care Princibles and Practice. GR/St Luice Press, 361s, Florida.
- Sterling, M. R., Dell, N., Piantella, B., Cho, J., Kaur, H., Tseng, E., ... Kern, L. M., 2020. Understanding the Workflow of Home Health Care for Patients with Heart Failure: Challenges and Opportunities. Journal of General Internal Medicine. <https://doi.org/10.1007/s11606-020-05675-8>
- Tan, K. C., Lee, L. H., Zhu, Q. L., Ou, K., 2001. Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows. Artificial Intelligence in Engineering, 15(3), 281–295. [https://doi.org/10.1016/S0954-1810\(01\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S0954-1810(01)00005-X)
- Tanlı, S., 1996. Evde Bakım Hizmetlerinin Firmalaştırılması: Bir İşletme Planı Örneği. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Fakültesi, Hastane ve Sağlık Kuruluşlarında Yönetim Bilim Dalı, YL Tezi, 62s, İstanbul.

- Tourangeau, A. E., Patterson, E., Saari, M., Thomson, H., Cranley, L., 2017. Work-related factors influencing home care nurse intent to remain employed. *Health Care Management Review*, 42(1), 87–97. <https://doi.org/10.1097/HMR.0000000000000093>
- Trautsamwieser, A., Hirsch, P., 2011. Optimization of daily scheduling for home health care services. *Journal of Applied Operational Research*, 3(3), 124–136. www.tadbir.ca
- TUİK, 2020. TUİK nüfus verileri. Retrieved 20 May 2020, from Nüfus verileri ve tahmini website: <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
- UN., 2019. No Title. Retrieved 20 May 2020, from World Population Prospects 2019 website: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>
- Uzan, M. M., Eğici, M. T., Toprak, D., 2017. Evde Sağlık Hizmeti Kapsamındaki Hastaların Sosyodemografik Özellikleri ve Tıbbi Durumları. Sociodemographic Characteristics and Medical Conditions of Patients under Homecare Service. *JAREM*, 7, 117–121. <https://doi.org/10.5152/jarem.2017.1286>
- Vaira, G., Kurasova, O., 2014. Genetic algorithm for VRP with constraints based on feasible insertion. *Informatica (Netherlands)*, 25(1), 155–184. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2014.09>
- Valdmanis, V. G., Rosko, M. D., Leleu, H., Mukamel, D. B., 2017. Assessing overall, technical, and scale efficiency among home health care agencies. *Health Care Management Science*, 20(2), 265–275. <https://doi.org/10.1007/s10729-015-9351-1>
- Wang, H., He, Y., Li, Y., Wang, F., 2020. Study on the Home Health Caregiver Scheduling Problem under aResourceSharing Modeconsidering Differences inWorkingTimeand Customer Satisfaction. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/7360765>
- Weerahandi, H., Bao, H., Herrin, J., Dharmarajan, K., Ross, J. S., Jones, S., Horwitz, L. I., 2020. Home Health Care After Skilled Nursing Facility Discharge Following Heart Failure Hospitalization. *Journal of the American Geriatrics Society*, 68(1), 96–102. <https://doi.org/10.1111/jgs.16179>
- WHO., 1959. Role of Hospitals in Ambulatory and Domiciliary Medical Care. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/40441/WHO_TRS_176.pdf
- Wirnitzer, J., Heckmann, I., Meyer, A., Nickel, S., 2016. Patient-based nurse rostering in home care. *Operations Research for Health Care*, 8, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.08.005>

- Yigit, T., Unsal, O., 2016. Using the Ant Colony Algorithm for Real-Time Automatic Route of School Buses. In The International Arab Journal of Information Technology (Vol. 13). [https://www.ccis2k.org/iajit/PDF/vol.13, no.5/8072.pdf](https://www.ccis2k.org/iajit/PDF/vol.13,no.5/8072.pdf)
- Yigit, T., Unsal, O., Deperlioglu, O., 2018. Using the metaheuristic methods for real-time optimisation of dynamic school bus routing problem and an application. International Journal of Bio-Inspired Computation, 11(2), 123–133. <https://doi.org/10.1504/IJBIC.2018.091236>
- Yuan, B., Liu, R., Jiang, Z., 2015. A branch-and-price algorithm for the home health care scheduling and routing problem with stochastic service times and skill requirements. International Journal of Production Research, 53(24), 7450–7464. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1082041>
- Yurtsever, N., 2016. İzmir’de çalışan evde bakım hemşirelerinin iş doyumu ve tükenmişlik düzeylerinin incelenmesi. İzmir KATip çelebi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği ABD, YL. Tezi, İzmir.
- Zhang, J., 2006. Approximating the two-level facility location problem via a quasi-greedy approach. Mathematical Programming, 108(1), 159–176. <https://doi.org/10.1007/s10107-006-0704-x>

EKLER

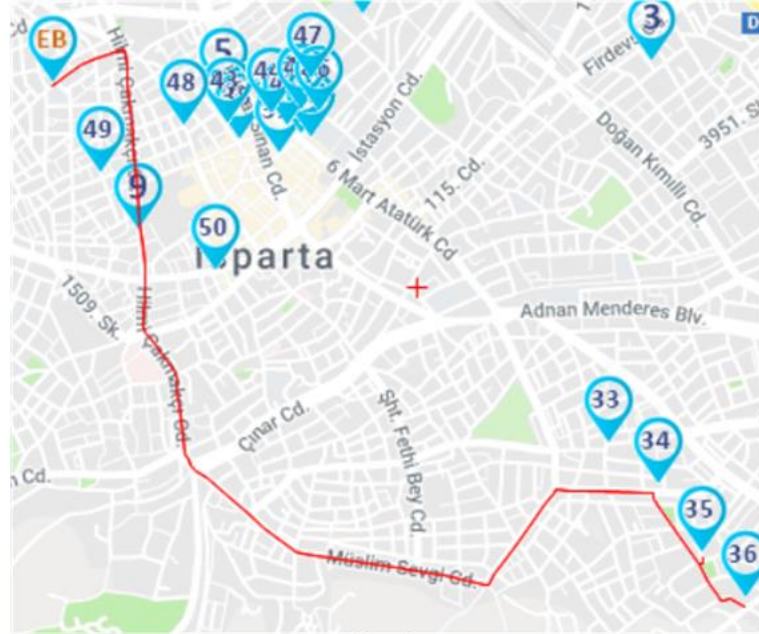
EK A ROTALAR



Rota1

Rota Güzergah : 0[0:0] - 37[74:194] - 9[212:316] - 0[400:400]

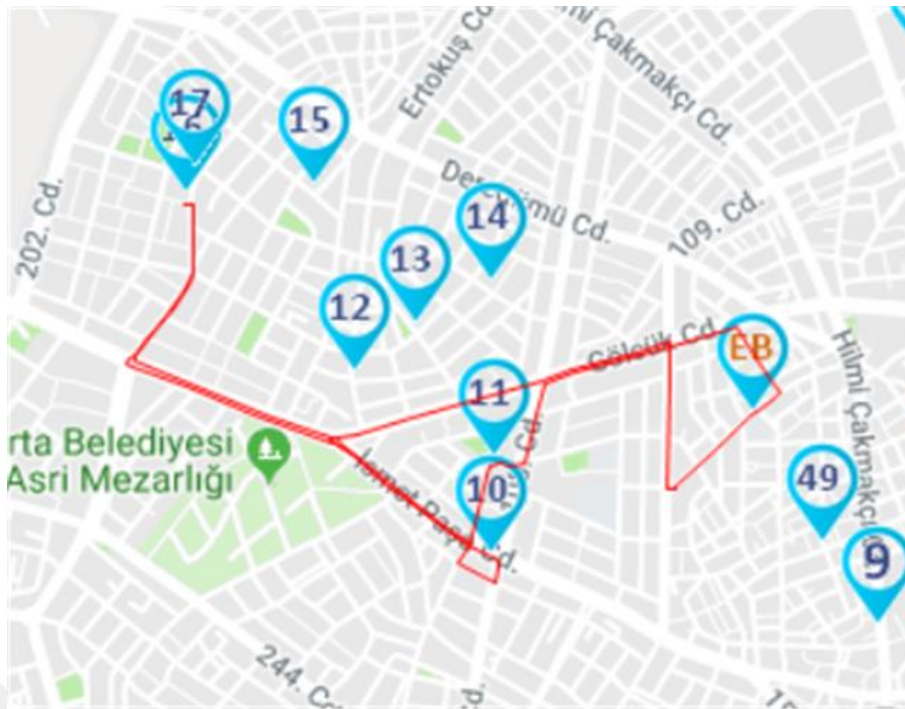
Şekil A.1. Deney1 test 7 ile elde edilen Ekip1'e ait rota



Rota2

Rota Güzergah : 0[300:300] - 36[343:390] - 35[391:396] - 0[540:540]

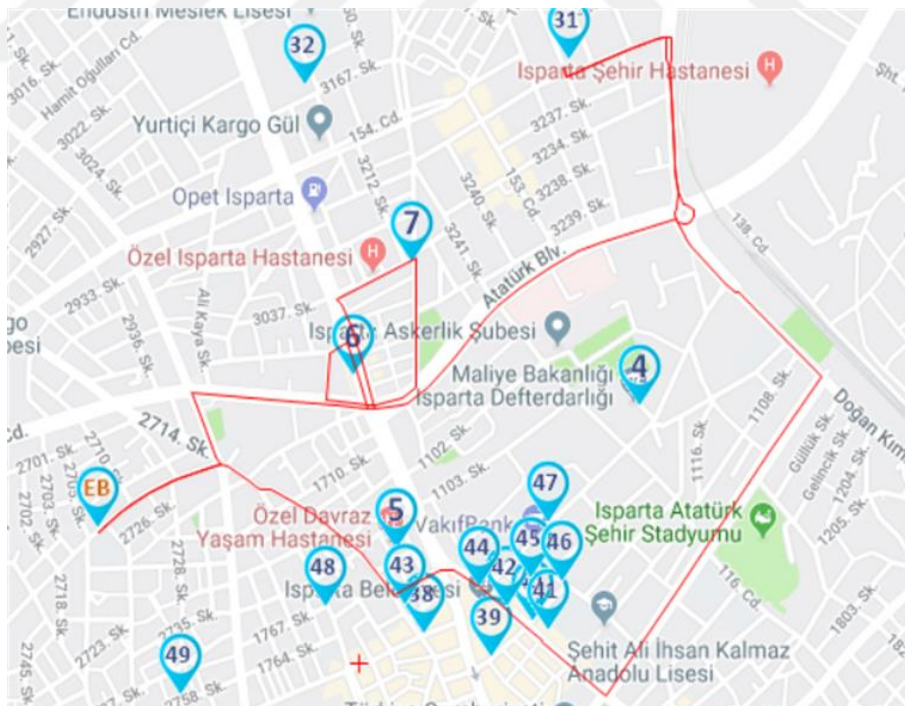
Şekil A.2. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekp2'ye ait rota



Rota3

Rota Güzergah : 0[0:0] - 10[13:85] - 16[123:194] - 11[198:228] - 0[240:240]

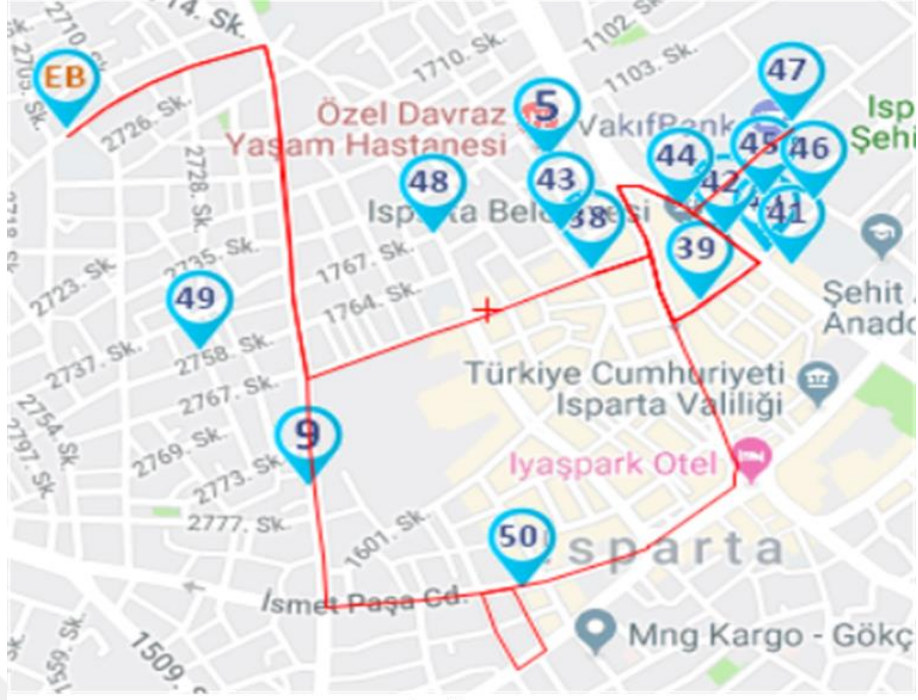
Şekil A.3. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekp3'e ait rota



Rota4

Rota Güzergah :0[0:0] - 7[15:25] - 6[129:209] - 31[214:219] - 41[272:277] - 44[278:291] - 0[300:300]

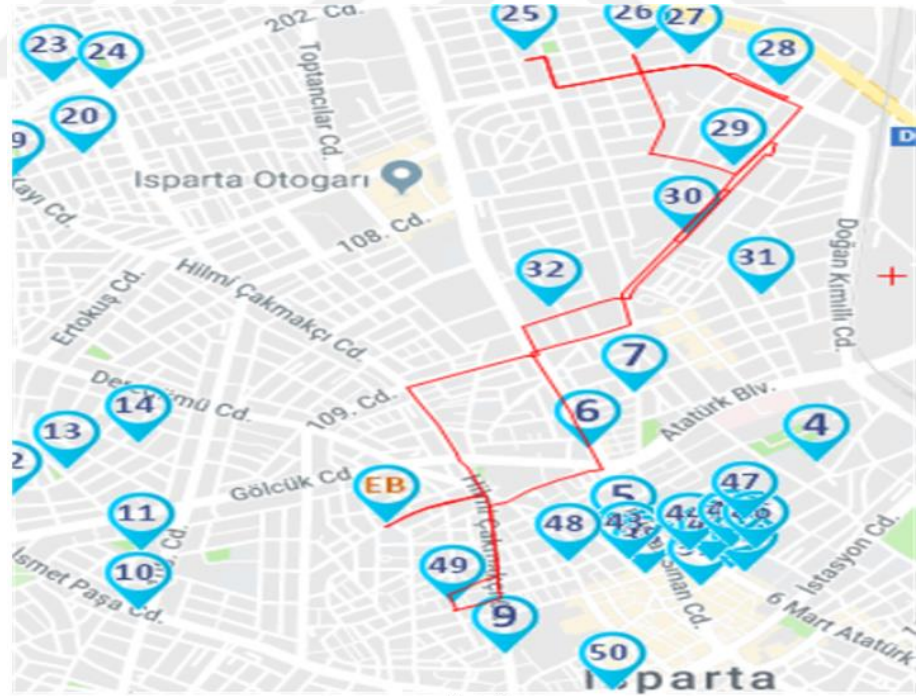
Şekil A.4. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekp4'e ait rota



Rota5

Rota Güzergah :0[300:300] - 47[307:312] - 39[314:394] - 38[396:407] - 42[412:452] - 50[483:498] - 0[540:540]

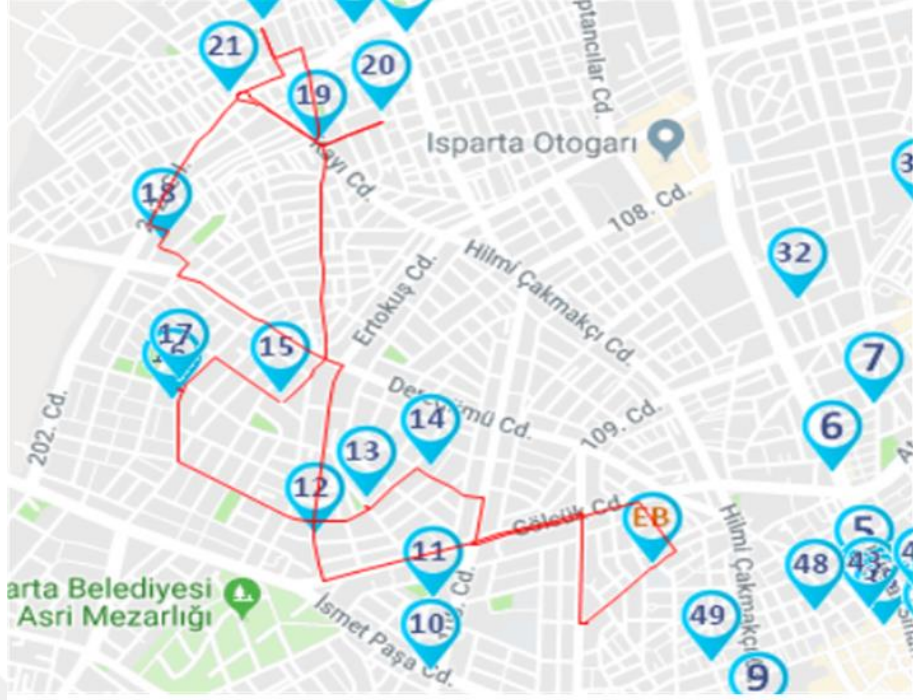
Şekil A.5. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekp5'e ait rota



Rota6

Rota Güzergah :0[0:0] - 32[6:11] - 29[109:119] - 26[122:213] - 28[231:264] - 27[331:344] - 25[345:425] - 30[428:443] - 49[507:517] - 0[540:540]

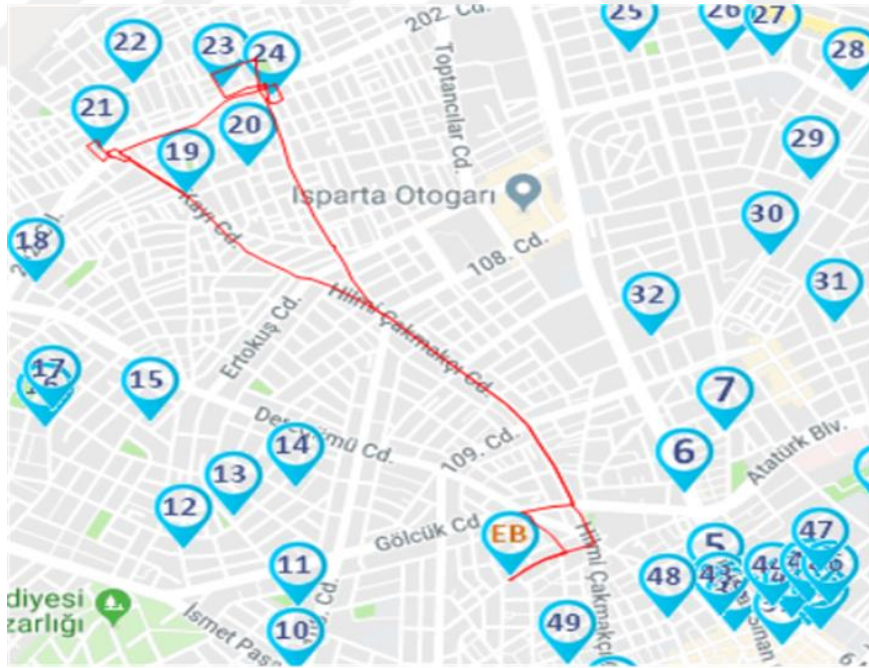
Şekil A.6. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekp6'ya ait rota



Rota7

Rota Güzergah : 0[0:0] - 12[25:41] - 22[62:92] - 20[127:227] - 18[266:281] - 15[300:346] - 17[357:410] - 13[413:445] - 14[487:527] - 0[540:540]

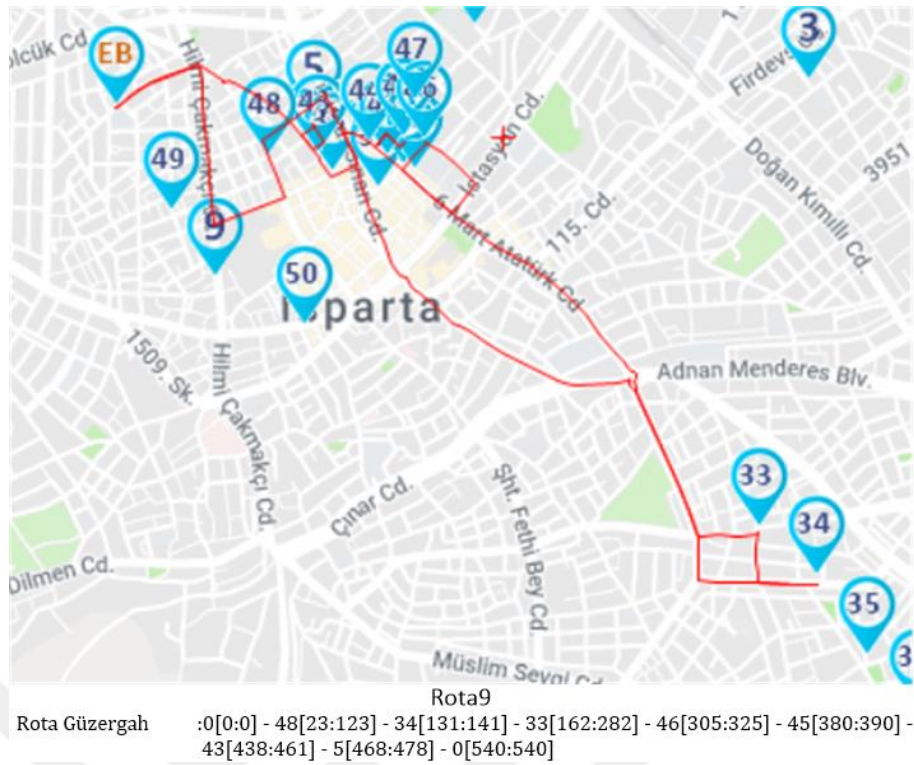
Şekil A.7. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekp7'ye ait rota



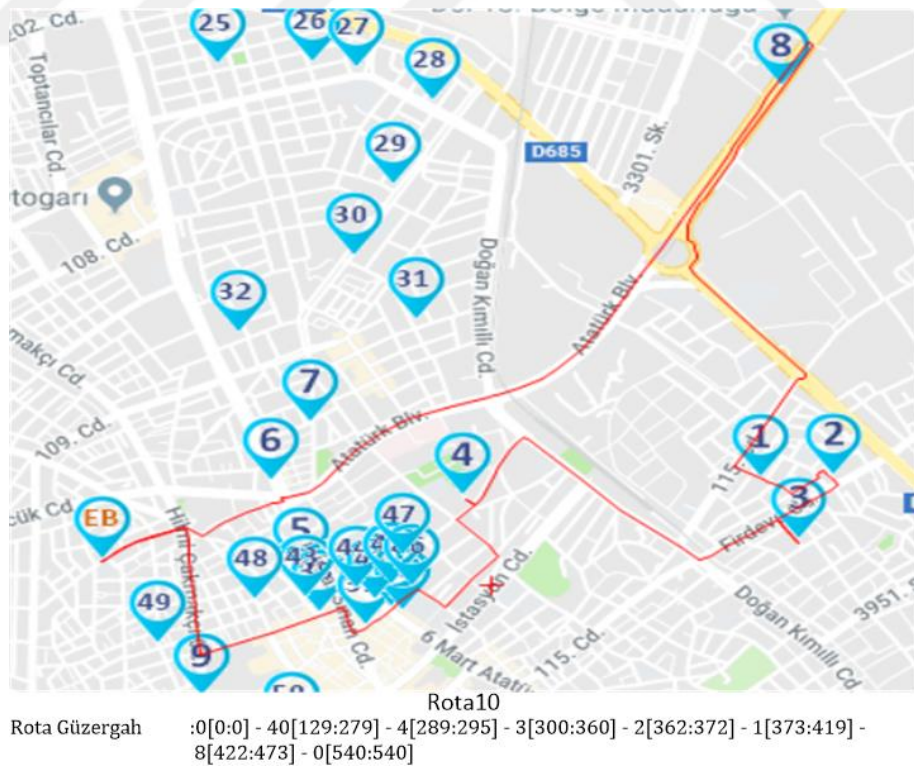
Rota8

Rota Güzergah : 0[100:100] - 21[161:251] - 19[300:369] - 23[380:405] - 24[407:445] - 0[540:540]

Şekil A.8. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekip8'e ait rota



Şekil A.9. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekip9'a ait rota



Şekil A.10. Deney 1 test 7 ile elde edilen Ekip10'a ait rota

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Recep ÇOLAK
Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1972
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : recepcolak@isparta.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Isparta Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümü, 1992
Lisans : Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği, 1998
: Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği (Mühendislik tamamlama), 2020
Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, 2015

Mesleki Deneyim

Isparta Merkez Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	1998-2000
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Hikmet Tolunay MYO	2000-2008
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uzaktan Eğitim MYO	2008-halen

Yayınlar

Çolak, R., Işık, A. H., Yiğit, T. 2019. A New Method for Routing in Home Health Care Services. BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience, 10(4), 14-27.

Çolak, R., Yiğit, T. 2017, October. The effect of genetic algorithm parameters in the solution of the course timetable problem. In 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), 1090-1094. IEEE.

İ. Y. Genç, R. Çolak, T. Yiğit, and A. Diler, “Development of A Software to Determine the Shelf Life of Rainbow Trout *Oncorhynchus Mykiss* Under Different Temperatures,” presented at the 3rd International Conference On Engineering And Natural Sciences , 2017.

Yiğit, T., Bingöl, O., Albayrak, M., Armağan, H., Aruğaslan, E., Çolak, R., Tonguç, G. 2010. e Stüdyo Teknik Altyapısı ve Uzaktan Eğitime Katkısı. Presented at the IODL & ICEM 2010 Joint Conference and Media Days, Eskişehir.

Yiğit, T., Bingöl, O., Armağan, H., Aruğaslan, E., Çolak, R., Yakut, G., Çivril, H. 2010. Uzaktan Eğitimde Yeni Bir Yaklaşım E Stüdyo. Presented At The Akademik Bilişim 2010, Muğla.

Yiğit, T., Bingöl, O., Armağan, H., Çolak, R., Aruğaslan, E., Yakut, G., Çivril, H. 2010. Öğrenci Ve Öğretim Elemanının Uzaktan Eğitime Bakış Açısı. Presented At The Akademik Bilişim 2010, Muğla.